

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Požární odolnost prvků dřevěných konstrukcí

Fire resistance of timber structures elements

Student:

Pavel Kendzierski

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.

Ostrava 2012

Prohlášení

Celou bakalářskou práci včetně příloh jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 30.4.2012

Pavel Kendzierski

Podpis autora

Prohlášení

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 30.4.2012

Pavel Kendzierski

Podpis autora

Anotace

Předmětem bakalářské práce je obecný popis chování dřevěných konstrukcí a prvků při působení požárního zatížení. Další částí práce je přiblížení způsobů ochrany dřevěných konstrukcí před vlivy vysokých teplot a požárního zatížení. Následně jsou všechny poznatky aplikovány při metodách výpočtů požárních odolností prvků dřevěných konstrukcí dle EC.

Annotation

The subject of the thesis is a general description of the behavior of timber structures and elements when exposed to fire load. Second part of this work is to approach ways of timber elements protection from the effects of high temperatures and fire load. Consequently, all knowledge is applied in the calculation methods of fire resistance of timber structures elements according to the EC.

Obsah bakalářské práce

1.0	Úvod	1
1.1	Náplň bakalářské práce	1
2.0	Metodika návrhu dřevěných konstrukcí	2
2.1	Chování dřeva při požáru.....	3
2.1.1	Ochrana dřeva před požárním zatížením	8
2.2	Podmínky pro výpočet.....	10
2.3	Zatížení	11
2.4	Návrhové hodnoty vlastností prvků dřevěných konstrukcí.....	11
2.5	Návrhové hodnoty účinků zatížení	13
2.6	Metody posuzování prvků a konstrukcí ze dřeva	15
2.6.1	Způsoby posuzování konstrukčních prvků a konstrukcí ze dřeva.....	15
2.6.1.1	Analýza prvků.....	16
2.6.1.2	Analýza částí konstrukce	16
2.6.1.3	Analýza celé konstrukce.....	17
2.7	Hloubky zuhelnatění.....	17
2.7.1	Povrchy nechráněné	18
2.7.2	Povrchy chráněné	21
2.8	Počátek zuhelnatění	22
2.9	Rychlost zuhelnatění	23
3.0	Návrh průřezů prvků.....	24
3.1	Obecná metoda	24
3.2	Metoda redukovaných vlastností.....	25
3.3	Metoda redukovaného průřezu	26
4.0	Příklady posudků a návrhů prvků	29
4.1	Posudek nechráněného sloupu na účinky požárního zatížení.....	29
4.1.1	Posudek metodou redukovaného průřezu.....	30
4.2	Posudek chráněného sloupu na účinky požárního zatížení.....	32
4.2.1	Posudek metodou redukovaných vlastností.....	33
4.2.2	Posudek metodou redukovaného průřezu	35
4.3	Návrh nosníku na účinek požárního zatížení.....	37
4.3.1	Posudek metodou redukovaných vlastností.....	38
4.3.2	Posudek metodou redukovaného průřezu.....	39

4.4	Posudek nosníku na účinky požárního zatížení	41
4.4.1	Posudek metodou redukovaných vlastností.....	42
5.0	Závěr.....	44
6.0	Seznam použitých zdrojů a literatury	45
7.0	Seznam příloh	47
A	Seznam pojmů	48
B	Seznam obrázků.....	51
C	Seznam tabulek	52
D	Návod k výpočetnímu programu	53

1.0 Úvod

1.1 Náplň bakalářské práce

Tato bakalářská práce se zabývá požární odolností prvků dřevěných konstrukcí. Dřevěné konstrukce mají v současné době jak své zastánce, tak i odpůrce. Dřevo jako materiál má své výhody i nevýhody. Výhodami dřeva jsou zejména obnovitelnost tohoto zdroje, snadná opracovatelnost, vzhled a dobrý poměr hmotnosti a únosnosti. Mezi nevýhody se řadí především nutnost chránit materiál před vlivy, které způsobují jeho poškození.

Cílem této práce je především popis chování prvků dřevěných konstrukcí při účincích požáru (způsob hoření, vliv vysokých teplot na fyzikální a mechanické vlastnosti), popis metod výpočtu požární odolnosti prvků dřevěných konstrukcí dle platných normativních předpisů a ukázka výpočtu požární odolnosti základních prvků dřevěných konstrukcí.

2.0 Metodika návrhu dřevěných konstrukcí

Dřevo je hořlavé, při vysokých teplotách produkuje prchavé plyny, které dokáží přenášet oheň na další části konstrukce, a samozřejmě dokáže zvyšovat účinky požáru na konstrukce, ve kterých je použito.

Naštěstí se dřevo při požáru chová ve většině případů shodně (rychlost zuhelnatění, odhořívání aj.), tudíž se na výpočty požární odolnosti dají využívat postupy získané zkušenostmi a testy jednotlivých dřevin využívaných při výstavbě. Proces zuhelnatění dřeva je v této době lehce předvídatelný, tudíž se může zohlednit ve výpočtech jako omezení vlivu požáru na konstrukci. Dalšími omezujícími prvky jsou například povrchové úpravy a různé druhy impregnací povrchu.

Velkou výhodou dřevěných konstrukcí je zejména to, že při požáru jejich povrch zuhelnatí, čímž částečně brání ohni v působení na celý prvek najednou. Vnitřní část těchto prvků zůstává během požáru bez poškození. Celková únosnost prvku se určuje na základě zbytkového průřezu. Zároveň s tímto platí, že čím je prvek masivnější, tím lépe odolává vlivu zatížení požárem. Prvky z lepeného lamelového dřeva se při požárech chovají mnohem příznivěji než například prvky na příhradových konstrukcích, které mají v porovnání s lepenými nosníky mnohem menší průřezovou plochu, a je tedy nutné na nich provádět dodatečné protipožární ochrany.

Při požáru je třeba rozlišovat jednotlivé fáze. Chování dřeva je jiné při rozhořívání a jiné během rozvinutého požáru. Při rozhořívání se při posuzování uplatňuje zejména hořlavost daného materiálu, rychlost zahoření, stupeň zápalnosti a míra předávání tepla. Naproti tomu při plně rozvinutém požáru jsou již všechny části konstrukce plně zatíženy. Požadavky na materiály v této fázi hoření jsou již zaměřeny na zachování mechanických vlastností a omezení šíření ohně, kouře a vysokých teplot na stranu odvrácenou ohni.

Požární odolnost se přiřazuje jednotlivým konstrukčním prvkům. Je to schopnost odolávat již rozvinutému požáru, nikoli schopnost zabránit účinkům požáru.

2.1 Chování dřeva při požáru

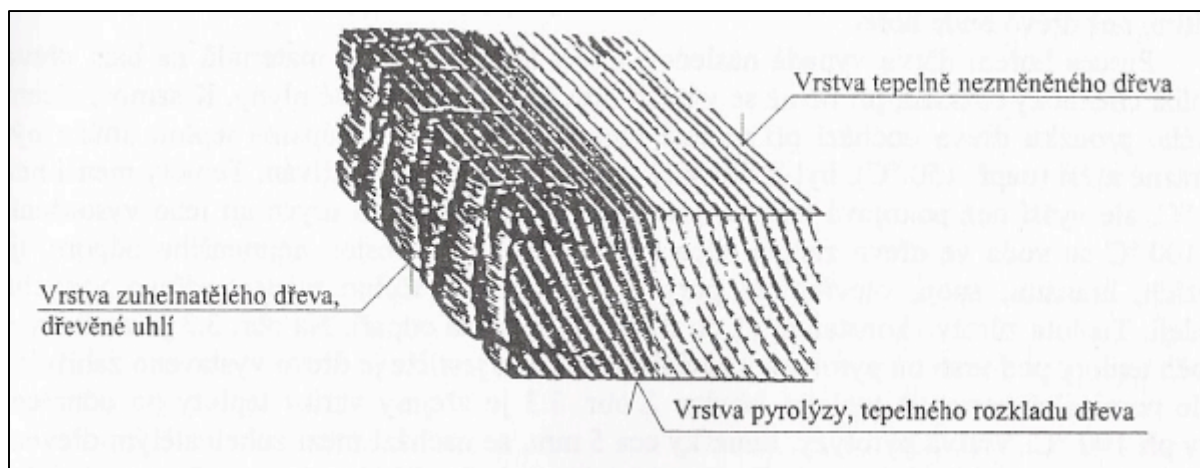
Konstrukční prvky ze dřeva nebo z materiálů na bázi dřeva po vystavení požáru na povrchu nejdříve vzplanou a hoří až do chvíle, než se na povrchu vytvoří zuhelnatělá vrstva dřevní hmoty – dřevěného uhlí. Díky tomuto se omezí přístup vzduchu na vnitřní části průřezu, což má za následek omezení hoření a zvýšení tepelně izolačních vlastností. Ve zbytkovém průřezu blízko povrchu pak zůstává nezměněná teplota. Protože na zbytkový průřez nepůsobí přímý oheň a působení teploty je konstantní, nedochází ke změnám mechanických ani fyzikálních vlastností materiálu. Úbytek únosnosti vlivem požáru je dán pouze redukcí tohoto průřezu.

Dřevo je hořlavé., Ke snížení hořlavosti je možné jeho povrch impregnovat ohnivzdornými solemi, případně postačí pouhé mechanické opracování povrchu. Tyto úpravy však nezpůsobí nehořlavost dřeva. Díky těmto úpravám bude třeba vynaložit větší energii k zahoření dřeva.

Impregnační chemické prostředky se obecně dělí do 2 skupin:

- a) pěnotvorné vícesložkové systémy;
- b) amonné soli.

Je-li je dřevo vystaveno plně rozvinutému požáru, tak se začne samo bránit účinkům ohně a dochází tím k celé řadě příznivých okolností (zuhelnatění, odpařování vody aj.). Při dostatečném toku tepla se zapálí vnější povrch prvku ze dřeva. Ten ze začátku velice silně hoří, avšak zanedlouho se na něm začne vytvářet tepelně izolační vrstva dřevěného uhlí. Tloušťka této vrstvy závisí na délce vystavení povrchu ohni, ale v zásadě platí, že při působení ohně po dobu zhruba 20 minut se na povrchu vytvoří téměř 30 mm vrstva zuhelnatělého dřeva. Pod touto vrstvou se nachází vrstva pyrolýzy. Je to část, ve které je teplota okolo 200°C. Pod vrstvou pyrolýzy, což je kolem 30 mm pod zuhelnatělým dřevem, se již nachází dřevo, které není zasaženo účinky požáru. Jeho teplota je stejná jako při pokojových teplotách, tzn. kolem 20°C. Je to způsobeno tím, že dřevo je samo o sobě špatným tepelným vodičem, takže vysoké teploty způsobené hořením povrchu se nedokážou přenést v dostatečné intenzitě přes celý prvek. Díky tomu se ke zbytkovému průřezu dostává velmi málo tepla. Grafické zobrazení průběhu změny dřeva v průřezu konstrukčního prvku, viz. obr. 2.1.



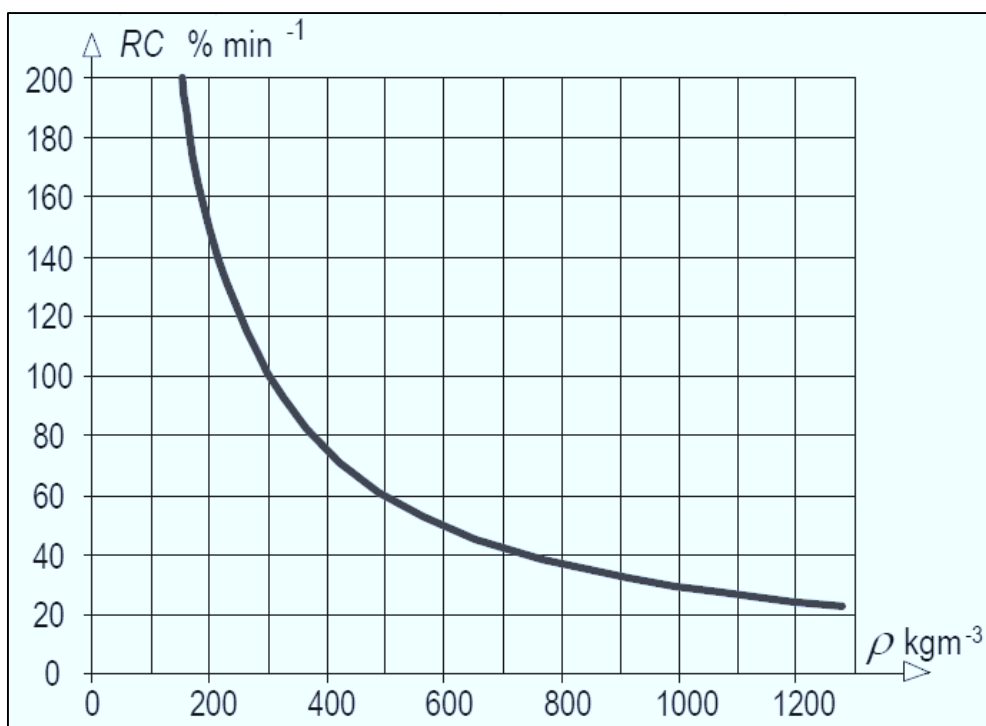
Obr. 2.1 Změna dřeva v průřezu konstrukčního prvku vlivem požáru – převzato z [8]

Dřevo je v současné době využíváno jako srovnávací materiál, dle kterého zařídí další materiálů podle požárního rizika. Dřevo vykazuje ve většině případů přijatelné riziko zapálení.

Rostlé dřevo potřebuje pro své vznícení bez přítomnosti zdroje zapálení povrchovou teplotu více než 400°C působící ve středně dlouhém až krátkém časovém úseku. Je známo velmi málo případů, při kterých se dřevo vznítilo dříve než ostatní materiály ve stavební konstrukci. Je to dáno zejména obtížnou zápalností rostlého dřeva. Při hoření dřevo nepraská a nesesychá. To zaručuje, že v dřevěných konstrukčních prvcích nevznikají trhliny a jejich povrch zůstává uzavřený. Pokud chceme zapálit konstrukční dřevěný prvek v přítomnosti zdroje zapálení, musíme dosáhnout po určitou dobu teplotu vyšší než 300°C .

Růstem teploty během požáru se mění vnitřní energie všech materiálů, nejen dřeva. Proto při požárech stavebních objektů shoří nejen hořlavé předměty. Změna vnitřní energie způsobuje změny skupenství, tepelnou roztažnost atp.. Z tohoto důvodu jsou například dřevěné konstrukce odolnější ohni než konstrukce ocelové.

Rychlost šíření ohně a zapálení prvku závisí na hustotě dřeva. Jedná se o hustotu ve zcela suchém dřevě. Díky tomu vykazují různé druhy dřevin rozdílné chování během vystavení ohni nebo účinkům vysokých teplot. Závislost mezi mírou zuhelnatění a hustotou ukazuje graf na obr. 2.2.



Obr. 2.2 Vztah mezi hustotou ρ a mírou zuhelnatění dřeva RC – převzato z [11]

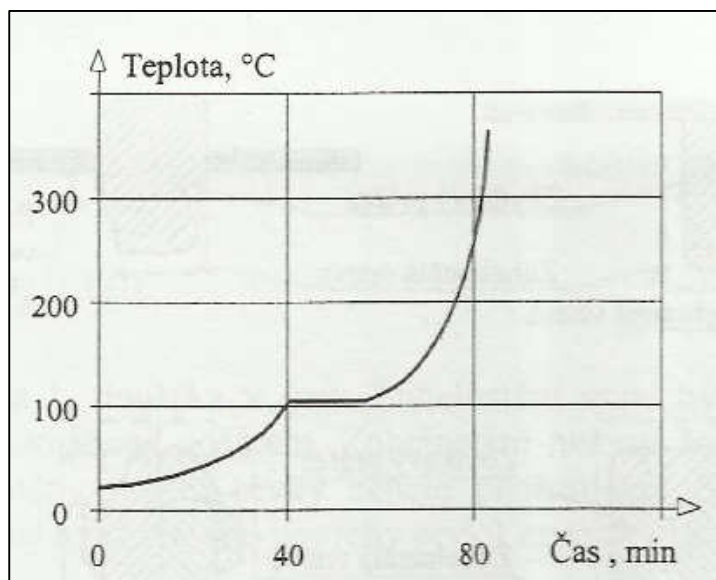
Chování prvků dřevěných konstrukcí při požáru ovlivňuje spousta faktorů. Mezi nejdůležitější patří zejména rozměry jednotlivých průřezů, jejich tvar, obvod, opracování povrchu a celková velikost povrchu. Hořlavost prvků je závislá na poměru mezi objemem a povrchem prvků. Čím větší tento poměr je, tím rychleji dochází k šíření plamene po tomto prvku. Dřevěné prvky se velmi často hoblují a zaoblují se jejich hrany. Je to dáno především tím, že drsný povrch a mnoho ostrých hran zvětšují hořlavost a vedou k nepříznivému chování těchto prvků během požáru. Hořlavost zvyšuje také obsah trhlín a prasklin ve dřevě. Toto je však větší problém u rostlého dřeva. Lepené lamelové dřevo je převážně bez prasklin a trhlín, tudíž vykazuje menší zuhelnatění než rostlé dřevo.

Zapálení dřeva závisí také na hustotě dřeva. Vztah mezi zápalností a hustotou je víceméně stejný jako vztah mezi mírou zuhelnatění a hustotou. Dalším faktorem, na kterém závisí hoření a chování dřeva během požáru je jeho vlhkost. Čím je dřevo vlhčí, tím lépe odolává účinkům ohně a vysokých teplot. Do stavebních konstrukcí se však používá vysušené dřevo, které obsahuje zpravidla mezi 8% až 15% vlhkosti. Aby toto dřevo začalo hořet, musí z každé tuny uniknout 80 až 150 kg vody.

Ve chvíli, kdy začne dřevo hořet, dochází v něm k chemickému rozkladu. Při tomto dochází k vytváření hořlavých plynů a dřevěného uhlí, které vzniká na povrchu hořícího povrchu. Při teplotách, které nedosahují 100 °C, ale jsou nejméně pokojové teploty, což je okolo 20 °C, dochází k vysoušení dřeva a jeho ohřívání. Zápálná teplota u dřevěných prvků se pohybuje kolem 150 °C, ale pouze v případě, že tento prvek je delší dobu vystaven teplotám, které zajistí jeho dlouhodobé zahřívání. Teplota potřebná k samovznícení tenkého proužku dřeva se pohybuje v rozmezí 340 °C až 430 °C.

Nejrychlejší vysychání dřevěných konstrukcí nastává při 100 °C v místech s otevřenými póry, s trhlinami, ve spojích, rozích a na hranách. Je to dáno zejména tím, že při této teplotě se začíná ze dřeva vypařovat voda, která je v něm obsažená. Těmito místy uniká pára zejména proto, protože si vybírá k unikání cestu s nejmenším možným odporem, čemuž vyhovují právě spoje, rohy atp. Teplota v ohřívaném prvku zůstává konstantní, ale pouze do chvíle, než se z něho vypaří veškerá voda.

Mezi zuhelnatělým dřevem a tepelně nezměněným dřevem se nachází vrstva pyrolýzy. V této vrstvě je dřevo chemicky změněno. Pyrolýza však není zcela rozložena. Její tloušťka je okolo 5 mm. Teplotní průběh ve vrstvě pod pyrolýzou, tzn. v neporušeném dřevě, lze znázornit graficky jako závislost teploty na čase, pokud je dřevo vystaveno zahřívání podle nominální normové teplotní křivky.

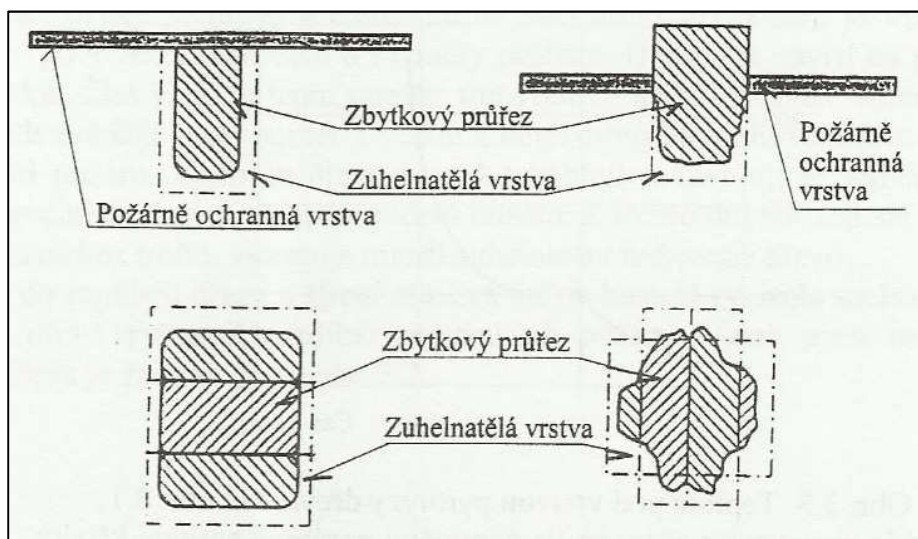


Obr. 2.3 Teplota pod vrstvou pyrolýzy dřeva, které je vystaveno požáru podle nominální normové teplotní křivky – převzato z [11]

Mezi teplotami 150 °C až 200 °C se ze dřeva vytváří povrchové plyny oxid uhelnatý CO a oxid uhličitý CO₂. Podíl těchto vznikajících plynů je okolo 30% hořlavého CO a 70% nehořlavého CO₂. V rozmezí teplot 200 °C až 275 °C probíhá pomalý rozklad dřeva a výhřevnost plynů je relativně nízká. Výhřevnost se pohybuje okolo 5024 kJm⁻³ hmoty. Při navýšení teploty nad 275 °C se začíná tvořit lehce zápalná směs uhlovodíků, která má velmi vysokou výhřevnost. Touto exotermickou reakcí se výhřevnost zvyšuje na hodnotu přibližně 8374 kJm⁻³. Největší výhřevnosti se dosáhne při teplotách v rozmezí 400 °C až 420 °C, kdy je produkováno největší množství hořlavých plynů a výhřevnost se zvyšuje na 18840 kJm⁻³. Při překročení teploty 500 °C se výhřevnost začíná opět snižovat.

Při prvotním zahoření těchto zápalných plyných směsí je hoření podporováno vznikajícím teplem, které ohřívá a rozkládá i hlubší vrstvy dřeva na spalitelné materiály. Díky uhlennatění povrchu dřeva, se zamezuje přístupu tepla do vnitřních částí průřezů, protože zuhelnatělý povrch je dobrým tepelným izolantem viz. obr. 2.4. Tím se znemožní přístup dalších hořlavých plynů do vnitřních nerozložených vrstev. Pokud nedojde k narušení povrchu, tzn. k prasklinám nebo odprýskání této vrstvy, může u masivních průřezů dojít k zastavení hoření.

Požární odolnost dřevěných konstrukcí je podstatně vyšší, než se všeobecně předpokládá. Je to dáno především tím, že tepelná vodivost zuhelnatělé vrstvy na povrchu konstrukce je pouze jednou šestinou celkové vodivosti rostlého dřeva. Tato vrstva působí jako tepelně izolační a rozklad dřeva pod ní probíhá pomaleji než na povrchu. Díky tomuto se téměř nemění teplota uprostřed průřezu.



Obr. 2.4 Průřez nosníků a sloupů před a po zatížení požárem – převzato z [5]

2.1.1 Ochrana dřeva před požárním zatížením

Může se realizovat mnoha různými způsoby. Obecně platí, že chemické impregnační prostředky by se měly využívat v co nejnížší možné míře a pokud je to možné, využít jiné způsoby ochrany.

Nejjednodušším způsobem ochrany dřeva je použití obložení, popř. zasypání nehořlavými hmotami s nízkou tepelnou vodivostí (písek, škvára, šterk, popel,...), dále obalení minerální vlnou (čedičovou nebo skelnou vatou), a nakonec omítnutí vápennou maltou. Tyto způsoby však nejsou použitelné ve všech možných případech. Může se jednat o budovy, které je třeba zachovat jak z hlediska konstrukčního, tak z hlediska estetického. Také se může stát, že tyto způsoby impregnace se oddělí od podkladního materiálu. Hrozí odpadání poměrně tlustých kusů ochranných vrstev buď mechanickým poškozením nebo stárnutím.

Dalším způsobem je možnost zředění vznikajících hořlavých plynů. Tato možnost zabraňuje přístupu kyslíku ke dřevu při hoření. Tato impregnace se vytváří pomocí nátěrů nebo impregnačních nástřiků takovými chemickými látkami, které se při zvýšené teplotě rozkládají na více jednodušších sloučenin. Většinou se jedná o plynné sloučeniny. Tyto sloučeniny bývají nehořlavé a unikají po povrchu impregnované konstrukce s pyrolyzními plyny a způsobují jejich naředění. Díky tomu nemůžou z těchto plynů vznikat nové hořlavé a zápalné směsi. K této impregnaci se využívají zejména amonné soli (fosforečnany, sírany, halogenidy, boritany), nebo sloučeniny obsahující krystalickou vodu (borax, soda, chlorid vápenatý aj.). tyto způsoby impregnace brání svým rozkladem prostupu tepla a zahřívání dřeva na jeho rozkladnou teplotu.

Dalším chemickým způsobem ochrany jsou pěnotvorné vícesložkové systémy. Tyto systémy obsahují pojivo, retardéry hoření a nadouvadlo. Při zvýšené teplotě začnou vytvářet vrstvu pěny, která má izolační funkci. K retardérům hoření se řadí zejména sloučeniny boru, které mají také biocidní účinnost. Na ochranu dřeva proti hmyzu a houbám se používá zhruba 10x menší nános těchto sloučenin na konstrukci. Protipožární nános se provádí v množství cca 200 gm^{-2} . Použití některých retardérů hoření je nevhodné, protože tyto látky mohou mít vliv na vzhled dřeva. Nepřípustné je zejména u památkových a jinak chráněných budov a konstrukcí. Pěnotvorné systémy jsou obecně nejúčinnější, vzhled dřeva po impregnaci je přijatelný a mají nejvyšší životnost.

Snížení hořlavosti lze dosáhnout nejsnáze omezením přístupu vzduchu k povrchu dřeva. Toto lze zajistit překrytím povrchu nehořlavou, tepelně izolační látkou. Druhou možností je použít hloubkovou impregnaci roztokem, který omezuje nebo zabraňuje hoření.

Nátěry: Nátěry jsou jednou z nejstarších metod ochrany dřeva před hořením. V minulosti byly tyto nátěry realizovány pomocí vápna, hlínky, mazaninami nebo organickými látkami, například volskou krví. V současné době jsou nejčastěji využívány zpěňující protipožární nátěry, kterými lze dosáhnout zatřídění konstrukce do nejvyšších tříd. Funkčnost těchto nátěrů je dána rozkladem chemických směsí, kterými jsou tvořeny. Například se může jednat o směsi tvořené karbonizujícími látkami (škrob, polyalkoholy aj.), solemi kyseliny fosforečné a nadouvadla (melamin aj.). Modernějšími přípravky jsou přípravky na bázi vanadu, silikonu, polyuretanů aj. nátěry fungují tak, že při styku s otevřeným ohněm dochází k redukci fosforečné soli na kyselinu fosforečnou a rychlé karbonizaci uhlíkatých složek, přičemž se tepelně rozkládá nadouvadlo a vyvíjí se obrovské množství plynu, který je nehořlavý (dusík). Dusík vytváří společně s karbonizující složkou na povrchu dřeva izolační uhlíkovou bariéru. Tato pěnová vrstva může být tloušťky až několik centimetrů. Účinnost této vrstvy je závislá na struktuře pěny. Ta se mění během celého působení požárního zatížení. Nátěry jsou zkoušeny za určitých podmínek, které jsou stanoveny příslušným zkušebním postupem a jeho funkce je tedy deklarována podmínkami, které stanovuje daná norma.

Impregnace: Účinnost impregnací je v současné době značně nižší než účinnost nátěrů. Borité a fosforité impregnace podporují u dřeva degradaci povrchu a z dlouhodobého hlediska celkové stárnutí. Impregnace je vodou ředitelný přípravek, který se nanáší buď povrchově nebo hloubkově za pomoci tlaku, případně máčením v roztocích. Používané retardéry buď při svém rozkladu uvolňují krystalovou vodu, nebo vytvářejí nehořlavé plyny, které ředí spaliny a tlumí tím šíření plamene. Svým rozkladem také odebírají teplo z konstrukce.

Obklady: Obklady jsou hojně využívány zejména pro ochranu tyčových nosných prvků s vyšší požární odolností. Jedná se hlavně o půdní vestavby, stropní konstrukce a tam, kde je nedostačující ochrana nátěr. Nejrozšířenějšími obklady jsou sádkokartonové a sádrovláknité desky. Při využití minimálních rozměrů prvku 80x100 mm je možno pomocí vícevrstevných obkladů sádkokartonovými deskami dosáhnout odolnosti až R 90. Na stejném principu fungují také sádrovláknité desky, které mají vyšší odolnost než sádkokartonové, tudíž pro získání stejné odolnosti je třeba deska s nižší tloušťkou.

Lepené obklady: Jedná se o zvláštní případ ochrany. Tyto desky na bázi minerální vlny mají při své objemové hmotnosti obrovské odolnosti proti ohni. Lze díky nim dosáhnout i odolnosti R 120, pokud budou dodrženy požadované rozměry chráněných průřezů.

2.2 Podmínky pro výpočet

V případě, že danou konstrukci potřebujeme navrhovat s přihlédnutím na požární odolnost z hlediska stavební mechaniky, musíme postupovat takovým způsobem, aby si tyto konstrukce zachovaly svou nosnou funkci během zatěžování požárním zatížením. Jedná se o kritérium únosnosti R. Jestliže potřebujeme uvážit také přetvoření požárně dělících prvků nebo ochranných prostředků konstrukce, je třeba počítat také s požadavky na přetvoření nosných konstrukcí staveb.

Jestliže je daná konstrukce dělena na požární úseky pomocí dřevěných konstrukcí, musí být tyto dělící konstrukce navrženy tak, aby si zachovaly svou dělící funkci i při působení příslušného zatížení požárem.

- a) Nejdůležitějším faktorem, který musí být zachován, je celistvost konstrukce. Nesmí dojít k porušení následkem vzniku trhlin, otvorů nebo děr, které by byly natolik velké, aby jimi mohl proniknout požár prostřednictvím plamenů nebo plynů. Toto se nazývá kritériem celistvosti a značí se velkým písmenem E.
- b) Dalším faktorem je kritérium tepelné izolace, které se značí velkým písmenem I. Znamená to, že nesmí dojít k porušení izolace požárně dělící konstrukce. Je to odolnost proti porušení izolace následkem přesahu maximální meze přípustné teploty na povrchu, který není vystaven přímému působení zatížení ohněm.
- c) Prvky se dělí na 3 typy dle jejich základních funkcí, které vykonávají v konstrukci. Rozlišujeme prvky s pouze požárně dělící funkcí I a E, dále prvky pouze nosné, které značíme R a nakonec prvky s funkcí požárně dělící a nosnou, které značíme R, E a I. Tyto prvky musí mít maximální přípustný vzestup průměrných teplot na povrchu, který není vystaven ohni omezen hodnotou 140 K a maximální přípustný vzestup teploty ve kterémkoli bodě omezen hodnotou 180 K.

2.3 Zatížení

Podle normy ČSN EN 1995-1-2 Eurokód 5 se určuje mechanické a tepelné zatížení konstrukcí. Tato bakalářská práce se bude zabývat pouze normovým požárním zatížením. Normové požární ohřívání je ohřívání podle nominální normové teplotní křivky. Tato křivka vystihuje vznik a plné rozvinutí požáru působícího buď na prvek, nebo na celou konstrukci. Odolnost, kterou stanovíme při ohřevu pomocí nominální normové křivky se nazývá normová požární odolnost.

Při ověření požadované doby požární odolnosti je nutno porovnat návrhový účinek zatížení v požární situaci (s uvážením tepelných roztažností tam, kde je to vyžadováno) $E_{d,fi}$ s odpovídající návrhovou únosností během působení požárního zatížení $R_{d,fi}$.

$$E_{d,fi} \leq R_{d,fi}$$

2.4 Návrhové hodnoty vlastností prvků dřevěných konstrukcí

Pro ověřování únosnosti dřevěných konstrukcí zatížených požárním zatížením se určují jejich návrhové hodnoty ze vztahů, daných normou. Tyto vztahy jsou dle [1]

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \text{ [MPa]} \quad (2.1)$$

$$S_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}} \text{ [MPa]} \quad (2.2)$$

kde:

$f_{d,fi}$...je návrhová pevnost při požáru;

$S_{d,fi}$...návrhová tuhostní vlastnost při požáru. Jedná se o modul pružnosti $E_{d,fi}$ nebo modul pružnosti ve smyku $G_{d,fi}$;

$k_{\text{mod},fi}$...modifikační součinitel pro požární zatížení, který zohledňuje vlivy vlhkosti a teploty na parametry tuhosti a pevnosti dřeva. Tento součinitel nahrazuje součinitel k_{mod} , který je využíváný v textech normy ČSN P ENV 1995-1-1: 1996;

$\gamma_{M,fi}$...dílčí součinitel spolehlivosti při požáru a nabývá hodnoty $\gamma_{M,fi} = 1,0$;

f_{20} ...20% kvantil pevnostních vlastností materiálu při pokojové teplotě (cca 20 °C);

S_{20} ...20% kvantil tuhostní vlastnosti při pokojové teplotě. Jedná se o modul pružnosti nebo modul pružnosti ve smyku.

Pro ověřování přetvoření se vychází ze vztahu dle [1]:

$$E_{fi,d} = k_{mod,fi} \cdot \frac{E_{mean}}{\gamma_{M,fi}} \text{ [MPa]} \quad (2.3)$$

kde:

E_{mean} ...je průměrná hodnota modulu pružnosti při pokojové teplotě, tedy při cca 20 °C.

20% kvantil tuhostní nebo pevnostní vlastnosti se vypočítá podle vztahů dle [1]:

$$f_{20} = k_{fi} \cdot f_k \text{ [MPa]} \quad (2.4)$$

$$S_{20} = k_{fi} \cdot S_{05} \text{ [MPa]} \quad (2.5)$$

kde:

S_{05} ...je 5% kvantil tuhostní vlastnosti při běžné teplotě. Jedná se o modul pružnosti nebo modul pružnosti ve smyku;

k_{fi} ...součinitel uvedený v tabulce 2.1.

Tab. 2.1 - Hodnoty k_{fi}

Materiál, Spoj	k_{fi}
Rostlé dřevo	1,25
Desky na bázi dřeva	1,15
Lepené lamelové dřevo	1,15
Vrstvené dřevo – LVL	1,1
Spoje se spojovacími prostředky ve stříhu s bočními prvky ze dřeva a desek na bázi dřeva	1,15
Spoje se spojovacími prostředky ve stříhu s bočními prvky z oceli	1,05
Spoje s osově zatíženými spojovacími prostředky	1,05

2.5 Návrhové hodnoty účinků zatížení

Účinky zatížení na prvky a konstrukce navrhované na zatížení ohněm se určují v čase $t = 0$. Pro tyto výpočty je nutno využít součinitele $\psi_{1,1}$ nebo $\psi_{2,1}$, které jsou uvedeny v normě EN 1991-1-2:2002 v kapitole 4.3.1.

Účinek zatížení $E_{d,fi}$ lze zjednodušeně určit z analýzy pro běžnou pokojovou teplotu ze vztahu dle [1]:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (2.6)$$

kde:

E_d ...je návrhový účinek zatížení při návrhu na běžnou teplotu při uvážení základní kombinace zatížení působícího na daný prvek, popřípadě konstrukci;

η_{fi} ...redukční součinitel pro návrhové zatížení při požáru.

Redukční součinitel η_{fi} pro kombinaci zatížení dle EN 1990:2002 se počítá dle následujícího vztahu podle [1]:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \quad (2.7)$$

nebo pro kombinace zatížení jako nejmenší hodnota získaná z následujících dvou vztahů dle [1]:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \quad (2.8)$$

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\xi \cdot \gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \quad (2.9)$$

kde:

$Q_{k,1}$...je charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení;

G_k ...charakteristická hodnota stálého zatížení;

γ_G ...součinitel pro působení stálých zatížení;

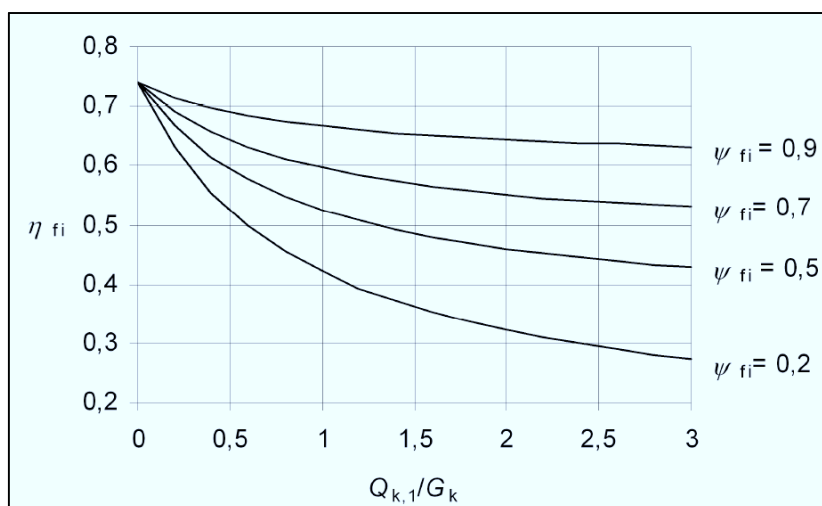
$\gamma_{Q,1}$...součinitel pro proměnné zatížení 1;

ψ_{fi} ...součinitel pro časté hodnoty proměnných zatížení při požární situaci. Tento součinitel je dán dle normy EN 1991-1-2:2002 hodnotou $\psi_{1,1}$ nebo $\psi_{2,1}$;

ξ ...redukční součinitel nepříznivých stálých zatížení G .

Pro hodnoty redukčního součinitele návrhového zatížení při požární situaci jsou doporučeny hodnoty $\eta_{fi} = 0,6$. Užité zatížení kategorie E uvedena v EN 1991-1-2:2002 (prostory citlivé na hromadění zboží včetně přístupových prostor) mají tento součinitel vyšší. Zde je doporučena hodnota součinitele $\eta_{fi} = 0,7$.

Příklad průběhu redukčního součinitele η_{fi} lze graficky zobrazit pomocí poměru závislosti zatížení $\frac{Q_{k,1}}{G_k}$. Pro různé hodnoty součinitele ψ_{fi} dle vztahu (2.7) je zobrazen v grafu 2.5.



Obr. 2.5 Příklady redukčního součinitele η_{fi} v závislosti na poměru zatížení $\frac{Q_{k,1}}{G_k}$ podle vztahu (2.7) – převzato z [4]

Předpoklady pro toto zobrazení grafu jsou dány využitím normových hodnot součinitelů pro jednotlivá zatížení. Tyto součinitele jsou $\gamma_G = 1,35$, $\gamma_Q = 1,5$ a $\gamma_{GA} = 1,0$. Všechny tyto součinitele lze nalézt v příslušných národních přílohách normy EN 1990:2002. Výpočty dle vztahů (2.8) a (2.9) dávají lehce vyšší hodnoty.

Pro zjednodušení lze také uvažovat neměnnost v čase u okrajových podmínek v podpěrách.

2.6 Metody posuzování prvků a konstrukcí ze dřeva

Užitím obecné metody, zjednodušené metody účinného průřezu nebo metody redukované pevnosti a tuhosti lze uvážit vliv požárního zatížení na rozměry průřezů konstrukčních prvků a také vliv na parametry dřeva a materiálů na bázi dřeva.

2.6.1 Způsoby posuzování konstrukčních prvků a konstrukcí ze dřeva

Při navrhování konstrukce na účinky požárního zatížení je třeba vytvořit dostatečně přesný model, který bude vystihovat chování navrhované konstrukce při takovémto zatížení.

Při požárním namáhání se využívá analýza různými metodami. Jednak je to analýza prvků, dále analýza částí konstrukce a nakonec také analýza konstrukce jako celku.

2.6.1.1 Analýza prvků

Okrajové podmínky se uvažují neměnné během požárního zatížení. Stejně pravidlo se dá uvažovat u způsobů podepření jednotlivých prvků. K analýze se využívá stejných účinků zatížení jako u analýzy částí konstrukce. U dřevěných konstrukcí navíc nemusíme uvažovat s teplotní roztažností prvků.

2.6.1.2 Analýza částí konstrukce

Analýza částí konstrukce je alternativou analýzy celé konstrukce. Díky rozdělení konstrukce na jednotlivé části lze modelovat různé požární situace na různých částech konstrukce nebo dílčích částech složených soustav.

Podepření a okrajové podmínky se uvažují neměnné během celé doby zatěžování požárem. Jsou tedy nezávislé na čase.

Aproximací lze uvažovat spolupůsobení prvků a složených soustav v jednotlivých částech konstrukce. Při zjednodušeném návrhu lze převzít účinky zatížení z analýzy celé konstrukce. Účinky zatížení se myslí například vnitřní síly a momenty v konstrukci. Musí platit počáteční podmínky podepření a je třeba zajistit platnost okrajových podmínek. Při návrhu se vychází ze vztahu podle [1]:

$$E_{fi,d} = 0,65 \cdot E_d \text{ [N]} \quad (2.10)$$

Nevýhodou tohoto vztahu je jeho konzervativnost. Například pro užitná zatížení kategorie D mohou vzniknout značně nespolehlivé výsledky. Jestliže se tyto účinky zatížení odvozují z analýzy celé konstrukce, je výhodnější využití obecnějšího vztahu dle [1]:

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d \text{ [N]} \quad (2.6)$$

kde:

$E_{d,fi}$... je návrhová hodnota účinků zatížení při základní kombinaci zatížení dle normy;

E_d ...návrhový účinek zatížení při návrhu na běžnou teplotu při uvážení základní kombinace zatížení působícího na daný prvek, popřípadě konstrukci;

η_{fi} ...redukční součinitel pro návrhové zatížení při požáru.

Účinky teplotních roztažností prvků, které jsou z jiného materiálu než ze dřeva se musí v těchto výpočtech zohlednit.

2.6.1.3 Analýza celé konstrukce

Analýza celé konstrukce během požárního zatížení vyžaduje zohlednění příslušného způsobu porušení tímto namáháním. Také je třeba zohlednit účinky teplotního přetvoření a roztažení a závislosti vlastností materiálu na teplotě. Při ověření požadované doby požární odolnosti je nutno porovnat návrhový účinek zatížení v požární situaci (s uvážením tepelných roztažností tam, kde je to vyžadováno) $E_{d,fi}$ s odpovídající návrhovou únosností během působení požárního zatížení $R_{d,fi}$.

$$E_{d,fi} \leq R_{d,fi}$$

2.7 Hloubky zuhelnatění

Odolnost prvků proti účinkům požáru je charakterizována zejména hloubkou zuhelnatění. Je to vzdálenost mezi polohou čáry zuhelnatění a vnějším povrchem původního prvku. Určujícími faktory jsou doba vystavení požáru a příslušná rychlost zuhelnatění. Zuhelnatění prvků dřevěných konstrukcí je způsobeno především přímým vystavením těchto prvků působení zatížení požárem.

Poloha čáry zuhelnatění odpovídá poloze izoterm 300 °C. Posudek prvků na namáhání požárem musí vycházet z jejich hloubky zuhelnatění. Při tomto by se mělo uvažovat také se zaoblením rohů. Alternativní možností je stanovení nominálního průřezu bez zaoblených rohů. Tato možnost je ovšem vázána na nominální hloubku zuhelnatění.

Rychlosti zuhelnatění dělíme na tři kategorie. Jsou to:

- a) povrchy chráněné, které jsou vystaveny působení požáru po porušení pláště požární ochrany;
- b) povrchy chráněné, při kterých dochází k zuhelnatění před porušením pláště požární ochrany;

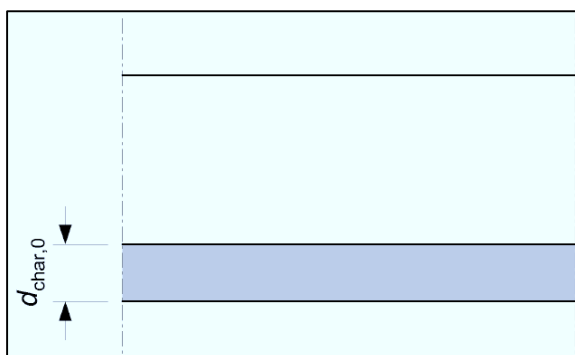
- c) povrchy nechráněné, které jsou vystaveny účinkům požáru po celou dobu jeho působení.

2.7.1 Povrchy nechráněné

Při hoření rozlišujeme dvě varianty rychlosti zuhelnatění. Jsou to:

- a) nominální návrhová rychlost zuhelnatění;
- b) jednorozměrná návrhová rychlost zuhelnatění.

Pro jednorozměrné zuhelnatění platí jednorozměrná návrhová rychlost zuhelnatění. Tato rychlost se uvažuje jako konstantní v čase, viz. obr. 2.6.



Obr. 2.6 Jednorozměrné zuhelnatění širokého průřezu vystaveného jednostranně účinkům požáru – převzato z [4]

Pro jednorozměrné zuhelnatění lze určit hloubku zuhelnatění ze vztahu dle [1]:

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot t \text{ [mm]} \quad (2.12)$$

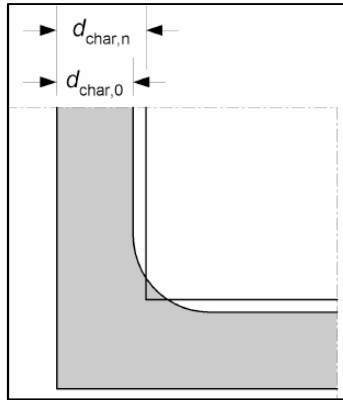
kde:

$d_{char,0}$...je návrhová hloubka zuhelnatění pro jednorozměrné zuhelnatění;

β_0 ...jednorozměrná návrhová rychlost zuhelnatění;

t ...doba, po kterou je prvek vystaven účinkům požáru.

Pro nominální návrhovou rychlost zuhelnatění se uvažují stejné podmínky jako pro jednorozměrnou návrhovou rychlost zuhelnatění. U nominální návrhové rychlosti se však již uvažuje se zaoblením rohů, viz. obr. 2.7.



Obr. 2.7 Hloubka zuhelnatění $d_{char,0}$ pro jednorozměrné zuhelnatění a nominální hloubka zuhelnatění $d_{char,n}$ – převzato z [10]

Nominální návrhovou hloubku zuhelnatění lze určit ze vztahu dle [1]:

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t \text{ [mm]} \quad (2.13)$$

kde:

$d_{char,n}$...je nominální návrhová hloubka zuhelnatění včetně uvážení účinku zaoblení rohů;

β_n ...nominální návrhová rychlost zuhelnatění včetně uvážení účinku zaoblení rohů.

Jestliže uvažujeme zuhelnatění v blízkosti rohů a posuzujeme průřez s původní minimální šířkou b_{min} , pak splňujeme předpoklad pro využití jednorozměrné návrhové rychlosti zuhelnatění. Podmínky pro minimální šířku b_{min} jsou podle [1]:

$$b_{min} = 2 \cdot d_{char,0} + 80 \text{ jestliže } d_{char,0} \geq 13 \text{ mm} \quad (2.14)$$

$$b_{min} = 8,15 \cdot d_{char,0} \text{ jestliže } d_{char,0} < 13 \text{ mm} \quad (2.15)$$

Jestliže počítáme průřezy s použitím jednorozměrných návrhových rychlostí zuhelnatění, rovná se hloubka zuhelnatění $d_{char,0}$ poloměru zaoblení rohů.

Nominální návrhová rychlost zuhelnatění se využívá v případech, při kterých je nejmenší šířka průřezu prvku menší než b_{min} .

Pokud je povrch dřeva nechráněn před účinky požárního zatížení po celou dobu působení tohoto zatížení, lze jednotlivé hodnoty návrhových rychlostí zuhelnatění β_0 a β_n vyčíst z tab. 2.2.

Pro rostlé dřevo listnatých dřevin kromě dřeva bukového s charakteristickými hodnotami hustoty od 290 do 450 kg/m³ lze pro stanovení návrhové rychlosti zuhelnatění použít lineární interpolaci mezi hodnotami z tab. 2.2. Pro bukové dřevo se rychlosti získají tak, jako jsou uvedeny v tabulce pro rostlé dřevo jehličnatých dřevin.

Tab. 2.2 - Návrhové hodnoty zuhelnatění

	β_0 mm/min	β_n mm/min
Dřevo listnatých dřevin		
Rostlé nebo lepené lamelové dřevo listnatých dřevin s charakteristickou hustotou 290 kg/m ³	0,65	0,70
Rostlé nebo lepené lamelové dřevo listnatých dřevin s charakteristickou hustotou ≥ 450 kg/m ³	0,50	0,55
Dřevo jehličnatých dřevin		
Lepené lamelové dřevo s charakteristickou hustotou ≥ 290 kg/m ³	0,65	0,70
Rostlé dřevo s charakteristickou hustotou ≥ 290 kg/m ³	0,65	0,80
LVL		
S charakteristickou hustotou ≥ 480 kg/m ³	0,65	0,70
Desky		
Dřevěné obložení	0,90 ^a	-
Překližka	1,00 ^a	-
Desky na bázi dřeva jiné než překližka	0,90 ^a	-
^a Hodnoty platí pro charakteristickou hustotu 450 kg/m ³ a tloušťku desky 20 mm		

Rychlost zuhelnatění u desek uvedených v tab. 2.2 se liší od ostatních hodnot pro desky, které nemají požadované vlastnosti uvedené v poznámce. Pro ostatní charakteristické vlastnosti desek s hustotou ρ_k a tloušťkou $h_p < 20\text{mm}$ se rychlost jejich zuhelnatění určuje podle následujícího vztahu dle [1]:

$$\beta_{0,\rho,t} = \beta_0 \cdot k_\rho \cdot k_h \text{ [mm/min]} \quad (2.16)$$

kde:

$$k_\rho = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} \quad (2.17)$$

$$k_{\rho} = \sqrt{\frac{20}{h_p}} \quad (2.18)$$

přičemž:

ρ_k ...je charakteristická hustota desky v kg/m^3 ;

h_p ...tloušťka desky v mm.

2.7.2 Povrchy chráněné

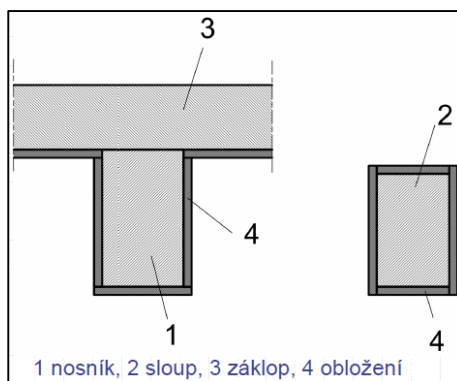
U povrchů, které jsou před přímým působením požárního zatížení chráněny pláštěm požární ochrany, jinými konstrukcemi nebo ochrannými materiály je třeba uvážit, že:

- a) počátek procesu uhelnatění je na rozdíl od nechráněných povrchů posunut na hodnotu času t_{ch} ;
- b) prvek může začít uhelnatět ještě před porušením protipožárních ochran, ale rychlost uhelnatění bude menší než v tab. 2.2. Snížená rychlost bude pouze do doby porušení protipožární ochrany t_f ;
- c) při porušení protipožární ochrany v čase t_f se zvýší rychlost zuhelnatění nad hodnoty uvedené v tab. 2.2. Toto platí do dosažení času t_a ;
- d) v čase t_a je hodnota zuhelnatění rovna hloubce zuhelnatění stejného prvku bez protipožární ochrany, nebo hloubce 25 mm. Volí se menší z těchto hodnot. Při dosažení platnosti této podmínky se vrací rychlost uhelnatění k hodnotám uvedeným v tab. 2.2..

Při použití protipožární ochrany pomocí dalších konstrukčních prvků nebo konstrukcí, se musí uvažovat omezení s ohledem na:

- a) nadměrné deformace těchto ochranných protipožárních prvků;
- b) poškození, popř. destrukci nebo kolaps těchto ochranných prvků.

Při určování rychlosti zuhelnatění před porušením protipožární ochrany je třeba také uvážit účinek nevyplněných mezer větších než 2 mm ve spojích a mezer v obložení na počátek zuhelnatění.



Obr. 2.8 Příklady protipožárního obložení nosníků a sloupů – převzato z [4]

2.8 Počátek zuhelnatění

Čas počátku zuhelnatění t_{ch} chráněného dřevěného prvku s protipožárním pláštěm, složeným z jedné nebo více vrstev desek na bázi dřeva, se určí ze vztahu podle [1]:

$$t_{ch} = \frac{h_p}{\beta_0} \text{ [min]} \quad (2.19)$$

kde:

t_{ch} ...je čas počátku zuhelnatění;

h_p ...tloušťka jedné, popřípadě součet tlouštěk všech desek.

U nosníků a sloupů, které jsou proti působení požárního zatížení chráněny vlnou z minerálních vláken se zjišťuje čas počátku zuhelnatění ze vztahu dle [1]:

$$t_{ch} = 0,07 \cdot (h_{ins} - 20) \cdot \sqrt{\rho_{ins}} \text{ [min]} \quad (2.20)$$

kde:

t_{ch} ...je čas počátku zuhelnatění měřený v minutách;

h_{ins} ...tloušťka příslušného izolačního materiálu v mm;

ρ_{ins} ...hustota příslušného izolačního materiálu v kg/m^3 .

2.9 Rychlost zuhelnatění

Jestliže platí nerovnice $t_{ch} \leq t \leq t_f$, pak se rychlost zuhelnatění, která je uvedena v tabulce 2.2 násobí součinitelem k_2 . Součinitel k_2 může nabírat rozdílné hodnoty v závislosti na tom, jakým způsobem je daný prvek chráněn.

V případě, kdy je prvek ze dřeva chráněn obložením z vlny z minerálních vláken, která splňuje podmínky celistvosti do teploty 1000 °C, podmínku minimální hustoty, která je rovna 26 kg/m³ a podmínku minimální tloušťky, která musí být nejméně 20 mm, pak je možno získat součinitel k_2 z následující tabulky:

Tab. 2.3 - Hodnoty součinitele k_2 pro dřevo chráněné vlnou z minerálních vláken

Tloušťka h_{ins} v mm	k_2
20	1
≥ 45	0,6

Při použití vlny s jinou tloušťkou, než je uvedena v tabulce je možno využít k přesnějším výsledkům lineární interpolace mezi těmito hodnotami.

V případě, že je prvek ze dřeva chráněn obložením jednou vrstvou desky ze sádrokartonu typu F, se součinitel k_2 určuje z následujícího vztahu dle [1]:

$$k_2 = 1 - 0,018 \cdot h_p \quad (2.21)$$

kde:

h_p ...je tloušťka sádrokartonové desky v mm.

Pokud je tento prvek chráněn více než jednou vrstvou z tohoto typu sádrokartonové desky, bere se hodnota h_p rovna tloušťce vnitřní vrstvy.

V případě, kdy přestane platit nerovnice $t_{ch} \leq t \leq t_f$ a dojde k porušení ochrany dané nerovnicí $t_f \leq t \leq t_a$ vstupuje do výpočtů nový součinitel, kterým je součinitel $k_3 = 2$. Tímto součinitelem je nahrazen součinitel k_2 . Ve chvíli, kdy bude splněna podmínka $t \geq t_a$, není nutno vynásobení rychlosti zuhelnatění tímto součinitelem.

V případě, že je platná podmínka $t_{ch} = t_f$ uvažujeme časové omezení t_a jako menší hodnotu ze vztahů podle [1]:

$$t_a = 2 \text{ [min]} \quad (2.22)$$

$$t_a = \frac{25}{k_3 \cdot \beta_n} + t_f \text{ [min]} \quad (2.23)$$

Pokud platí podmínka $t_{ch} < t_f$, pak se časové omezení t_a spočte ze vztahu podle [1]:

$$t_a = \frac{25 - (t_f - t_{ch}) \cdot k_2 \cdot \beta_n}{k_3 \cdot \beta_n} + t_f \text{ [min]} \quad (2.24)$$

kde:

β_n ...je předpokládaná návrhová rychlost zuhelnatění v mm/min.

3.0 Návrh průřezů prvků

Při návrhu a posudku prvků dřevěných konstrukcí na účinky působení požárního zatížení se postupuje podle stejných metod jako při navrhování na běžnou pokojovou teplotu. Čím složitější metoda návrhu a posudku se použije, tím přesnější se získají konečné výsledky.

Existují 3 způsoby, jakými se dá určit vliv požáru na konstrukční prvky ze dřeva, jsou to:

- a) obecná metoda;
- b) metoda redukovaných vlastností;
- c) metoda redukovaného průřezu.

3.1 Obecná metoda

Při použití této metody je nutno zohlednit mnoho faktorů. Mezi nejdůležitější z nich se řadí především vztah mezi teplotou a vlhkostí na jedné straně a mezi parametry tuhosti a pevnosti na straně druhé. Dalším faktorem je uvážení stavu teploty a vlhkosti v jakémkoli libovolném bodě zbytkového průřezu. Touto metodou lze získat nejpřesnější výsledky.

Únosnost a tuhost průřezů prvků dřevěných konstrukcí se v tomto případě zjišťuje s využitím mnoha pomůcek. Je třeba uvažovat s vlastnostmi pevnosti a tuhosti zbytkového

průřezu v závislosti na vlhkosti a teplotě prvku. Dalším faktorem je použití hloubky zuhelnatění podle metody redukovaných vlastností prvku. Poslední možností je využití obecných modelů zuhelnatění.

3.2 Metoda redukovaných vlastností

Při využití této výpočtové metody se získá únosnost zbytkového průřezu prvku dřevěné konstrukce se zvážením poklesu parametrů tuhosti a pevnosti.

Zbytkový průřez prvků se určuje na základě zmenšení původního průřezu o hloubku zuhelnatění. Při tomto se neuvažuje zaoblení rohů. Po získání zbytkového průřezu lze vypočítat únosnosti v tahu, tlaku a ohybu dřevěných prvků.

Velikost zbytkového průřezu lze určit dosazením do rovnice dle [1]:

$$d_{char} = \beta_0 \cdot t \text{ [mm]} \quad (3.1)$$

kde:

β_0 ... je rychlost zuhelnatění dřeva, kterou lze získat z tab. 2.2.

Návrhovou pevnost a modul pružnosti zbytkového průřezu určíme z rovnic podle [1]:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \text{ [MPa]} \quad (3.2)$$

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}} \text{ [MPa]} \quad (3.3)$$

Pro pevnost v tahu a modul pružnosti dle [1]:

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{330} \cdot \frac{p}{A_r} \quad (3.4)$$

Pro pevnost v tlaku dle [1]:

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{125} \cdot \frac{p}{A_r} \quad (3.5)$$

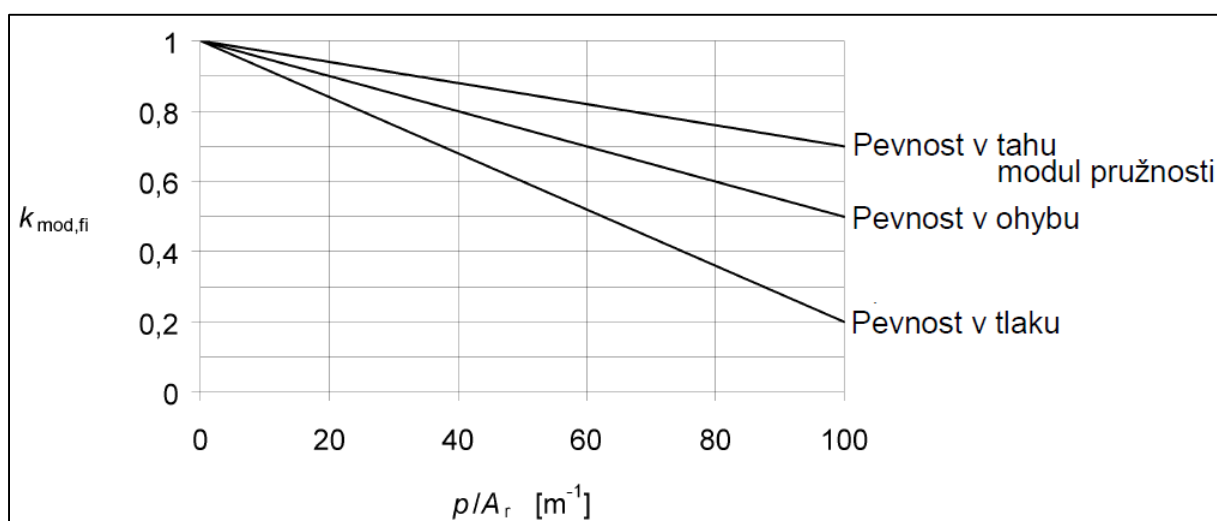
Pro pevnost v ohybu dle [1]:

$$k_{\text{mod},fi} = 1,0 - \frac{1}{200} \cdot \frac{p}{A_r} \quad (3.6)$$

kde:

p ...je obvod v metrech zbytkového průřezu dřevěného prvku namáhaného požárním zatížením;

A_r ...plocha zbytkového průřezu v m^2 .



Obr. 3.1 Redukční součinitel pevnosti a modulu pružnosti zbytkového průřezu – převzato z [5]

Pro chráněné i nechráněné prvky ze dřeva se uvažuje modifikační součinitel požárního zatížení $k_{\text{mod},fi} = 1$. Platí to pro čas $t = 0$. Navíc se pro nechráněné prvky může určit tento modifikační součinitel pomocí lineární interpolace. Musí ovšem platit podmínka $0 \leq t \leq 20$ minut.

3.3 Metoda redukováného průřezu

Při použití této metody lze za předpokladu, že požárním zatížením nejsou ovlivněny parametry tuhosti a pevnosti prvku, vypočítat únosnost pro účinný průřez tohoto prvku. Pokles tuhosti a pevnosti prvku je v této metodě kompenzován využitím zvětšené hloubky zuhelnatění.

Zmenšením původního průřezu o účinnou hloubku zuhelnatění získáme tzv. účinný průřez prvku, který lze popsat následující rovnicí podle [1]:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 \quad (3.7)$$

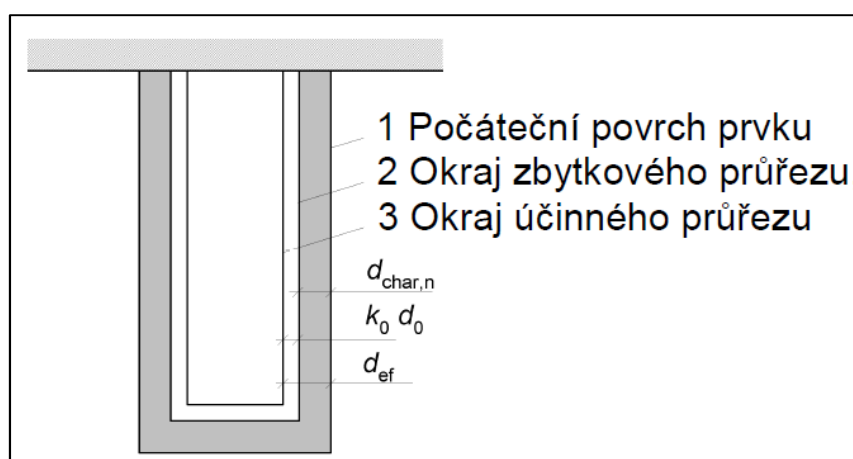
kde:

d_{ef} ...je účinný průřez prvku;

d_{char} ...je hloubka zuhelnatění závislá na rychlosti zuhelnatění a čase;

k_0 ...je součinitel upravující tloušťku vrstvy nulové pevnosti d_0 . Tento součinitel je závislý na délce trvání požárního zatížení;

d_0 ...je vrstva, ve které se předpokládá nulová pevnost dřeva. V případě, že trvá požární zatížení déle než 20 minut, je hodnota $d_0 = 7mm$.

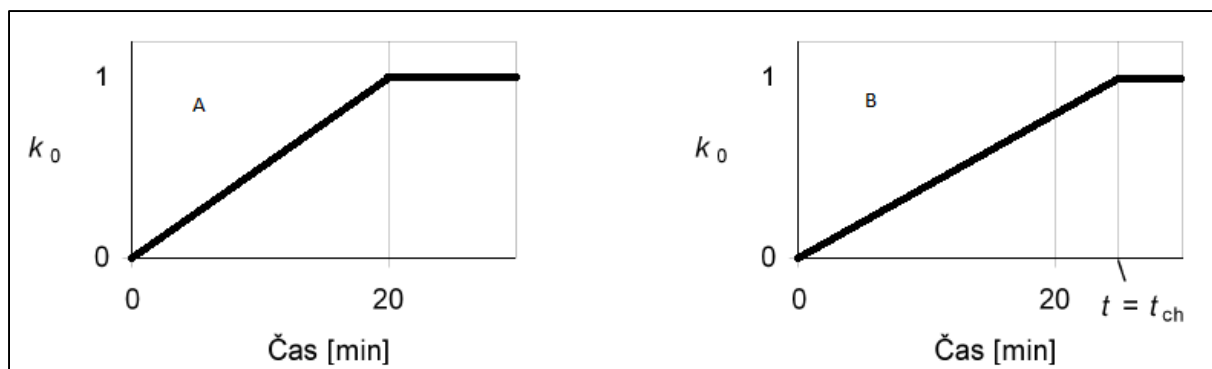


Obr. 3.2 Zbytkový a účinný průřez – převzato z [4]

Tab. 3.1 Součinitel tloušťky vrstvy nulové pevnosti k_0 pro nechráněné povrchy dle obr. 3.3 A

	k_0
$t < 20$ minut	$t/20$
$t \geq 20$ minut	1,0

Tab. 3.1 platí také pro chráněné povrchy, které mají $t_{ch} \leq 20$ min .



Obr. 3.3 Průběh k_0 pro:

3.3 A nechráněné a chráněné prvky, kde $t_{ch} \leq 20$ min ;

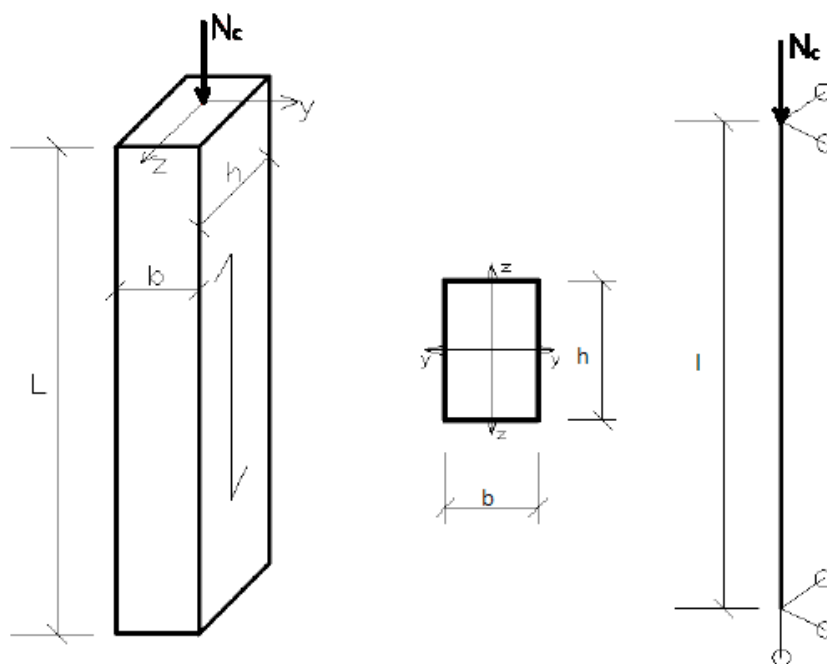
3.3 B chráněné prvky, kde $t_{ch} > 20$ min .

Obr. 3.3 B zobrazuje závislost součinitele k_0 na čase. Pro chráněné povrchy s $t_{ch} > 20$ min lze díky tomu předpokládat, že součinitel k_0 se během časového intervalu $0 - t_{ch}$ mění lineárně od 0 do 1.

4.0 Příklady posudků a návrhů prvků:

4.1 Posudek nechráněného sloupu na účinky požárního zatížení:

Posud'te únosnost kloubově uloženého sloupu obdélníkového průřezu. Průřez má rozměry 150x170 mm. Sloup je vysoký 3,0 m. Prvek je zabudován ve třídě provozu 1 a je proveden z rostlého dřeva třídy C30. Zatížen je dlouhodobou návrhovou silou $N_{Ed} = 95kN$. Posouzení je provedeno na požární odolnost R30.



Návrh na účinky požáru

$$N_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed} = 0,6 \cdot 95 = 57kN$$

Pozn. Pro zjednodušení byl použit součinitel η_{fi} roven hodnotě 0,6 (mimo zatížení kategorie E, uvedené v EN 1991-2-1:2002 – prostory citlivé na hromadění zboží včetně přístupových prostor).

4.1.1 Posudek metodou redukovaného průřezu

$$k_{\text{mod},fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm} / \text{min} \text{ (pro rostlé dřevo)}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$t_{fi,req} = 30 \text{ min}$$

$$k_0 = 1,0$$

Účinná hloubka zuhelnatění:

$$d_{ef} = \beta_n \cdot t + k_0 \cdot d_0 = 0,8 \cdot 30 + 1,0 \cdot 7 = 31 \text{ mm}$$

Průřezové charakteristiky:

$$b_{fi} = b - 2 \cdot d_{ef} = 150 - 2 \cdot 31 = 88 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - 2 \cdot d_{ef} = 170 - 2 \cdot 31 = 108 \text{ mm}$$

$$A_{fi} = b_{fi} \cdot h_{fi} = 88 \cdot 108 = 9504 \text{ mm}^2$$

$$I_{y,fi} = \frac{1}{12} \cdot b_{fi} \cdot h_{fi}^3 = \frac{1}{12} \cdot 88 \cdot 108^3 = 9,238 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{z,fi} = \frac{1}{12} \cdot h_{fi} \cdot b_{fi}^3 = \frac{1}{12} \cdot 108 \cdot 88^3 = 6,133 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_{y,fi} = \sqrt{\frac{I_{y,fi}}{A_{fi}}} = \sqrt{\frac{9,238 \cdot 10^6}{9504}} = 31,18 \text{ mm}$$

$$i_{z,fi} = \sqrt{\frac{I_{z,fi}}{A_{fi}}} = \sqrt{\frac{6,133 \cdot 10^6}{9504}} = 25,4 \text{ mm}$$

Návrhová pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{23}{1,0} = 28,75 MPa$$

Štíhlostní poměry:

$$\lambda_y = \frac{l_{ef}}{i_{y,fi}} = \frac{3000}{31,18} = 96,22$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef}}{i_{z,fi}} = \frac{3000}{25,4} = 118,11$$

Větší štíhlost kolmo na osu z = posudek k této ose.

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{118,11}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{23}{8000}} = 2,02$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (2,02 - 0,3) + 2,02^2] = 2,71$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{2,71 + \sqrt{2,71^2 - 2,02^2}} = 0,221$$

Napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny v průřezu:

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{A_{fi}} = \frac{57 \cdot 10^3}{9504} = 5,997 MPa$$

Posouzení sloupu na vzpěr:

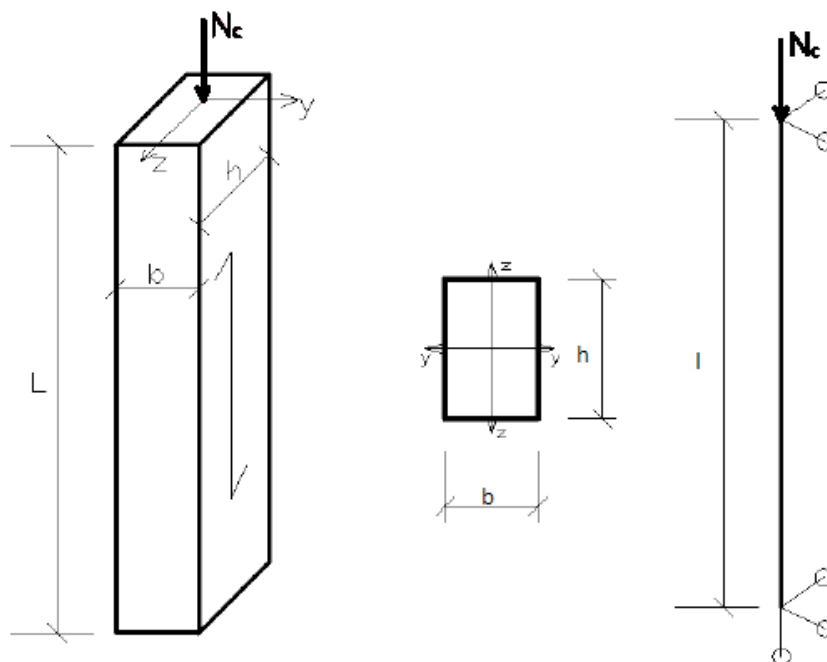
$$\frac{N_{Ed,fi}}{k_{c,z} \cdot A_{fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} \leq 1,0$$

$$\frac{5,997}{0,221 \cdot 28,75} = 0,94 \leq 1,0 \dots\dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Posuzovaný nechráněný sloup vyhoví na vzpěr pro R30.

4.2 Posudek chráněného sloupu na účinky požárního zatížení:

Posud'te kloubově uložený obdélníkový sloup na požární odolnost R45. Rozměry sloupu jsou 130x150 mm. Výška sloupu je 3,0 m a je zatížen dlouhodobou osovou návrhovou silou $N_{Ed} = 125kN$. Sloup je proveden z rostlého dřeva třídy C24 a je zabudován ve třídě provozu 1. Proti účinkům požáru je sloup chráněn OSB deskami, jejichž tloušťka je 20 mm a hustota 550 kg/m^3 .



Návrh na účinky požáru

$$N_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed} = 0,6 \cdot 125 = 75kN$$

Pozn. Pro zjednodušení byl použit součinitel η_{fi} roven hodnotě 0,6 (mimo zatížení kategorie E, uvedené v EN 1991-2-1:2002 – prostory citlivé na hromadění zboží včetně přístupových prostor).

Doba do porušení pláště požární ochrany (OSB desky, $h_p = 20mm$,

$$\beta_{0,450,20} = 0,9mm / min)$$

$$k_\rho = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} = \sqrt{\frac{450}{550}} = 0,9$$

$$k_h = \sqrt{\frac{20}{h_p}} = \sqrt{\frac{20}{20}} = 1,0$$

$$\beta_{0,\rho,t} = \beta_{0,450,20} \cdot k_\rho \cdot k_h$$

$$\beta_{0,550,20} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 0,81 \text{ mm / min}$$

$$t_{ch} = \frac{h_p}{\beta_{0,550,20}} = \frac{20}{0,81} = 24,5 \text{ min}$$

$$t = t_{fi,req} - t_{ch} = 45 - 24,5 = 20,5 \text{ min}$$

4.2.1 Posudek metodou redukovaných vlastností

Účinná hloubka zuhelnatění:

$$k_{fi} = 1,25$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm / min (pro rostlé dřevo)}$$

Hloubka zuhelnatění:

$$d_{char} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 20,5 = 16,4 \text{ mm}$$

Průřezové charakteristiky:

$$b_r = b - 2 \cdot d_{char} = 130 - 2 \cdot 16,4 = 97,2 \text{ mm}$$

$$h_r = h - 2 \cdot d_{char} = 150 - 2 \cdot 16,4 = 117,2 \text{ mm}$$

$$A_{fi} = b_{fi} \cdot h_{fi} = 97,2 \cdot 117,2 = 11391,84 \text{ mm}^2$$

$$I_{y,fi} = \frac{1}{12} \cdot b_{fi} \cdot h_{fi}^3 = \frac{1}{12} \cdot 97,2 \cdot 117,2^3 = 13,04 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{z,fi} = \frac{1}{12} \cdot h_{fi} \cdot b_{fi}^3 = \frac{1}{12} \cdot 117,2 \cdot 97,2^3 = 8,969 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_{y,fi} = \sqrt{\frac{I_{y,fi}}{A_{fi}}} = \sqrt{\frac{13,04 \cdot 10^6}{11391,84}} = 33,83 \text{ mm}$$

$$i_{z,fi} = \sqrt{\frac{I_{z,fi}}{A_{fi}}} = \sqrt{\frac{8,969 \cdot 10^6}{11391,84}} = 28,06 \text{ mm}$$

Návrhová pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{21}{1,0} = 26,25 \text{ MPa}$$

Štíhlostní poměry:

$$\lambda_y = \frac{l_{ef}}{i_{y,fi}} = \frac{3000}{33,83} = 88,68$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef}}{i_{z,fi}} = \frac{3000}{28,06} = 106,91$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{106,91}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{23}{8000}} = 1,82$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,81 - 0,3) + 1,81^2] = 2,29$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{2,29 + \sqrt{2,29^2 - 1,82^2}} = 0,27$$

Návrhová pevnost v tlaku:

$$A_r = b_r \cdot h_r = 97,2 \cdot 117,2 = 11391,84 \text{ mm}^2$$

$$p = 2 \cdot b_r + 2 \cdot h_r = 2 \cdot 0,0972 + 2 \cdot 0,1172 = 42,88 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$k_{\text{mod},fi,20} = 1,0 - \frac{1}{125} \cdot \frac{p}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{125} \cdot \frac{42,88 \cdot 10^{-2}}{113,9 \cdot 10^{-4}} = 0,7$$

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,7 \cdot 1,25 \cdot \frac{21}{1,0} = 18,38 MPa$$

Posouzení sloupu na vzpěr:

$$\frac{N_{Ed,fi}}{k_{c,z} \cdot A_{fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} \leq 1,0$$

$$\frac{75 \cdot 10^3}{0,27 \cdot 1139 \cdot 10^3 \cdot 18,38} = 1,33 \leq 1,0 \dots\dots\dots \text{NEVYHOVUJE}$$

Posuzovaný sloup nevyhoví na vzpěr pro R45.

4.2.2 Posudek metodou redukovaného průřezu

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$\beta_n = 0,8 mm / min \text{ (pro rostlé dřevo)}$$

$$d_0 = 7 mm$$

$$t_{fi,req} - t_{ch} = 45 - 24,5 = 20,5 min$$

$$k_0 = 1,0$$

Účinná hloubka zuhelnatění:

$$d_{ef} = \beta_n \cdot t + k_0 \cdot d_0 = 0,8 \cdot 20,5 + 1,0 \cdot 7 = 23,4 mm$$

Průřezové charakteristiky:

$$b_{fi} = b - 2 \cdot d_{ef} = 130 - 2 \cdot 23,4 = 83,2 mm$$

$$h_{fi} = h - 2 \cdot d_{ef} = 150 - 2 \cdot 23,58 = 103,2 mm$$

$$A_{fi} = b_{fi} \cdot h_{fi} = 83,2 \cdot 103,2 = 8586,24 mm^2$$

$$I_{y,fi} = \frac{1}{12} \cdot b_{fi} \cdot h_{fi}^3 = \frac{1}{12} \cdot 83,2 \cdot 103,2^3 = 7,62 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{z,fi} = \frac{1}{12} \cdot h_{fi} \cdot b_{fi}^3 = \frac{1}{12} \cdot 103,2 \cdot 83,2^3 = 4,95 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_{y,fi} = \sqrt{\frac{I_{y,fi}}{A_{fi}}} = \sqrt{\frac{7,62 \cdot 10^6}{8586,24}} = 29,79 \text{ mm}$$

$$i_{z,fi} = \sqrt{\frac{I_{z,fi}}{A_{fi}}} = \sqrt{\frac{4,95 \cdot 10^6}{8586,24}} = 24,01 \text{ mm}$$

Štíhlostní poměry:

$$\lambda_y = \frac{l_{ef}}{i_{y,fi}} = \frac{3000}{29,79} = 100,7$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef}}{i_{z,fi}} = \frac{3000}{24,01} = 124,95$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{124,95}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 2,12$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (2,12 - 0,3) + 2,12^2] = 2,93$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{2,93 + \sqrt{2,93^2 - 2,12^2}} = 0,2$$

Návrhová pevnost v tlaku:

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{21}{1,0} = 26,25 \text{ MPa}$$

Napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny v průřezu:

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{A_{fi}} = \frac{75 \cdot 10^3}{8586,24} = 8,73 \text{ MPa}$$

Posouzení sloupu na vzpěr:

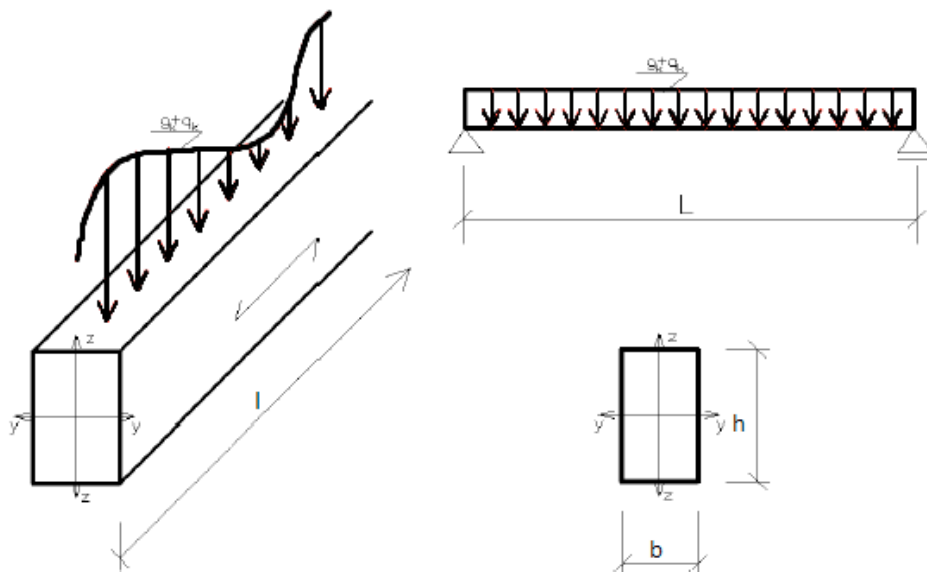
$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d,fi}} \leq 1,0$$

$$\frac{8,73}{0,2 \cdot 26,25} = 1,66 \leq 1,0 \dots\dots\dots \text{NEVYHOVUJE}$$

Posuzovaný chráněný sloup nevyhoví na vzpěr pro R30.

4.3 Návrh nosníku na účinek požárního zatížení:

Navrhněte prostě podepřený nosník na požární odolnost R30. Rozpětí nosníku je 3,5 m a je zatížen charakteristickým dlouhodobým zatížením $g_k = 0,9 \text{ kNm}^{-1}$ a užitným zatížením $q_k = 1,1 \text{ kNm}^{-1}$. Příčná a torzní stabilita nosníku je zajištěna bedněním. Nosník je z rostlého dřeva třídy C24 a je zabudován ve třídě provozu 1.



Návrh na běžnou teplotu

Ohybový moment:

$$M_{Ed} = \frac{(g_d + q_d) \cdot l^2}{8} = \frac{(0,9 \cdot 1,35 + 1,1 \cdot 1,5) \cdot 3,5^2}{8} = 4,39 \text{ kNm}$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,6 \cdot \frac{24}{1,3} = 11,08 \text{ MPa}$$

Navržen průřez 180x230 mm.

Posouzení normálového napětí za ohybu:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{\text{crit}} \cdot f_{m,d}$$

$k_{\text{crit}} = 1,0$, protože je nosník zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{4,39 \cdot 10^6 \cdot 6}{180 \cdot 230^2} = 2,76 \text{ MPa} \leq 11,08 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Nosník vyhoví na ohyb při běžné teplotě.

Návrh na účinky požáru**Ohybový moment:**

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} = \frac{0,9 + 0,2 \cdot 1,1}{1,35 \cdot 0,9 + 1,5 \cdot 1,1} = 0,39$$

$$M_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed} = 0,39 \cdot 4,39 = 1,71 \text{ kNm}$$

4.3.1 Posudek metodou redukovaných vlastností

$$k_{fi} = 1,25$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min (pro rostlé dřevo)}$$

Hloubka zuhelnatění:

$$d_{char} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ mm}$$

Průřezový modul (nosník vystaven požáru ze tří stran):

$$b_{fi} = b - 2 \cdot d_{char} = 180 - 2 \cdot 24 = 132 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - d_{char} = 230 - 24 = 206 \text{ mm}$$

$$W_{y,fi} = \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^2}{6} = \frac{132 \cdot 206^2}{6} = 933,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$A_r = b_{fi} \cdot h_{fi} = 0,132 \cdot 0,206 = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$p = b_{fi} + 2 \cdot h_{fi} = 0,132 + 2 \cdot 0,206 = 54,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{200} \cdot \frac{p}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{200} \cdot \frac{54,4 \cdot 10^{-2}}{2,7 \cdot 10^{-2}} = 0,9$$

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,9 \cdot 1,25 \cdot \frac{24}{1,0} = 27 \text{ MPa}$$

Posouzení normálového napětí za ohybu:

$$\sigma_{m,d,fi} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d,fi}$$

$$k_{crit} = 1,0, \text{ protože nosník je zajištěna příčná a torzní stabilita nosníku}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{1,71 \cdot 10^6}{933,6 \cdot 10^3} = 1,83 \text{ MPa} \leq 27 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Nosník vyhoví na ohyb pro R30.

4.3.2 Posudek metodou redukovaného průřezu

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm} / \text{min} \text{ (pro rostlé dřevo)}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$k_0 = 1,0, \text{ protože povrch nosníku není nijak chráněn}$$

Účinná hloubka zuhelnatění:

$$d_{ef} = \beta_n \cdot t + k_0 \cdot d_0 = 0,8 \cdot 30 + 1,0 \cdot 7,0 = 31 \text{ mm}$$

Průřezový modul (nosník vystaven požáru ze tří stran):

$$b_{fi} = b - 2 \cdot d_{ef} = 180 - 2 \cdot 31 = 118 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - d_{ef} = 230 - 31 = 199 \text{ mm}$$

$$W_{y,fi} = \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^2}{6} = \frac{118 \cdot 199^2}{6} = 778,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{24}{1,0} = 30 \text{ MPa}$$

Posouzení normálového napětí za ohybu:

$$\sigma_{m,d,fi} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d,fi}$$

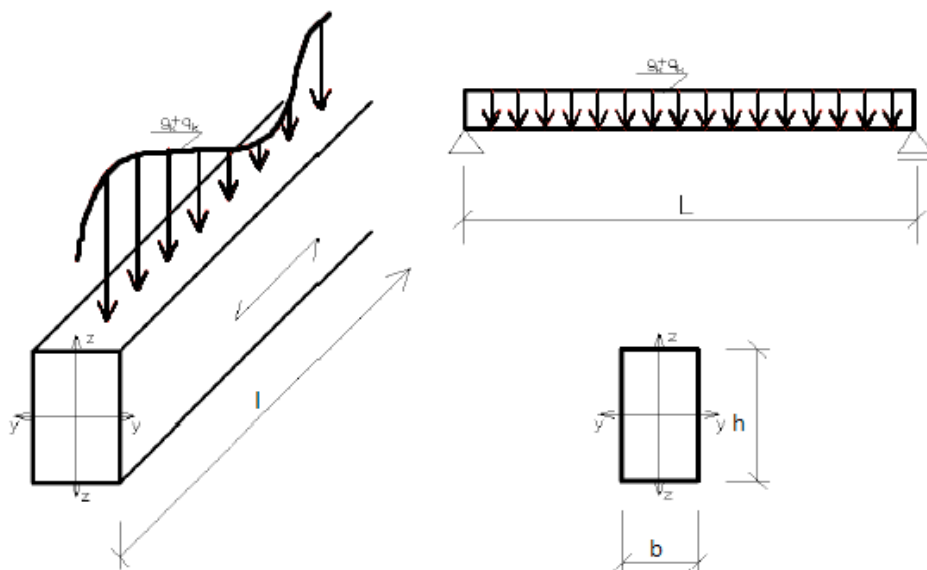
$$k_{crit} = 1,0, \text{ protože nosník je zajištěna příčná a torzní stabilita nosníku}$$

$$\sigma_{m,d,fi} = \frac{M_{Ed,fi}}{W_{y,fi}} = \frac{1,71 \cdot 10^6}{778,8 \cdot 10^3} = 2,2 \text{ MPa} \leq 30 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{VYHOVUJE}$$

Nosník vyhoví na ohyb pro R30.

4.4 Posudek nosníku na účinek požárního zatížení:

Posuďte prostě podepřený nosník na požární odolnost R60. Rozměry nosníku jsou 150x200 mm. Rozpětí nosníku je 4,5 m a je zatížen charakteristickým dlouhodobým zatížením $g_k = 1,2 \text{ kNm}^{-1}$ a užitným zatížením $q_k = 1,3 \text{ kNm}^{-1}$. Příčná a torzní stabilita nosníku je zajištěna pouze v podporách. Nosník je z rostlého dřeva třídy C24 a je zabudován ve třídě provozu 1.



Přepočet zatížení a vnitřních sil:

$$g_d = g_k \cdot \gamma_G = 1,2 \cdot 1,35 = 1,62 \text{ kNm}^{-1}$$

$$q_d = q_k \cdot \gamma_Q = 1,3 \cdot 1,5 = 1,95 \text{ kNm}^{-1}$$

$$M_{Ed} = \frac{(g_d + q_d) \cdot l^2}{8} = \frac{(1,62 + 1,95) \cdot 4,5^2}{8} = 9,04 \text{ kNm}$$

Návrh na účinky požáru

Ohybový moment:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} = \frac{1,2 + 0,2 \cdot 1,3}{1,35 \cdot 1,2 + 1,5 \cdot 1,3} = 0,41$$

$$M_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed} = 0,41 \cdot 9,04 = 3,71 \text{ kNm}$$

4.4.1 Posudek metodou redukovaných vlastností:

Hloubka zuhelnatění:

$$d_{char} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 60 = 48mm$$

Průřezový modul (nosník vystaven požáru ze tří stran):

$$b_{fi} = b - 2 \cdot d_{char} = 150 - 2 \cdot 48 = 54mm$$

$$h_{fi} = h - d_{char} = 200 - 48 = 152mm$$

$$W_{y,fi} = \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^2}{6} = \frac{54 \cdot 152^2}{6} = 207,9 \cdot 10^3 mm^3$$

Návrhová pevnost v ohybu:

$$A_r = b_{fi} \cdot h_{fi} = 0,054 \cdot 0,152 = 0,82 \cdot 10^{-2} m^2$$

$$p = b_{fi} + 2 \cdot h_{fi} = 0,054 + 2 \cdot 0,152 = 35,8 \cdot 10^{-2} m$$

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{200} \cdot \frac{p}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{200} \cdot \frac{35,8 \cdot 10^{-2}}{0,82 \cdot 10^{-2}} = 0,78$$

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,78 \cdot 1,25 \cdot \frac{24}{1,0} = 23,4MPa$$

Posouzení normálového napětí za ohybu:

$$\sigma_{m,d,fi} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d,fi}$$

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} \\ 1 / \lambda_{rel,m}^2 \end{cases} \text{ pro } \begin{cases} \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{h \cdot l_{ef}} = \frac{0,78 \cdot 54^2 \cdot 7400}{152 \cdot (0,9 \cdot 4500 + 304)} = 25,43MPa$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{25,43}} = 0,97$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,97 = 0,83$$

$$\sigma_{m,d,fi} = \frac{M_{Ed,fi}}{W_{y,fi}} = \frac{3,71 \cdot 10^6}{207,9 \cdot 10^3} = 17,85 MPa \leq 19,42 MPa \dots\dots\dots VYHOVUJE$$

Nosník vyhoví na ohyb pro R60.

5.0 Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo studium chování dřevěných prvků a konstrukcí během požárního zatížení. Pro splnění vytyčeného cíle bylo nutno pochopit, jakým způsobem se chovají dřevěné konstrukce a její prvky během vystavení požáru a vysokým teplotám. Bylo zpracováno, jakým způsobem se projevují vysoké teploty na procesech ve dřevěných konstrukcích a jak tyto konstrukce ovlivňují.

V další části bakalářské práce byly zmíněny způsoby ochrany dřevěných konstrukcí a jejich prvků proti účinkům požárních zatížení.

Výpočetní část této práce je věnována návrhům a posudkům sloupů a nosníků. Posudky byly provedeny metodou redukovaného průřezu, metodou redukovaných vlastností nebo oběma zároveň. Byl proveden posudek jak nechráněného sloupu, tak chráněného sloupu pomocí desek OSB. U nosníků byly provedeny také návrhy průřezů. Jeden nosník byl posouzen bez uvážení vlivu příčné a torzní nestability. U druhého nosníku bylo provedeno pouze posouzení průřezu, ale s uvážením zajištění příčné a torzní stability pouze v jeho podporách.

Poznatky z této bakalářské práce by se daly rozvinout v navazujícím studiu, přičemž by bylo možno pokračovat v této práci například při posuzování krovů nebo srubových staveb.

6.0 Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] ČSN EN 1995-1-2 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru. ČNI, 2006
- [2] ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla pro pozemní stavby. ČNI, 2006
- [3] Kolektiv autorů: *Dřevostavby a dřevěné konstrukce I. a II. díl*. 1. vydání. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM®, s.r.o., 2010. 309 s. ISBN 978-80-7204-732-1
- [4] KUKLÍK, P., KUKLÍKOVÁ, A. *Navrhování dřevěných konstrukcí příručka k ČSN EN 1995-1*. 1. vydání. Praha: Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2010. 140 s. ISBN 978-80-87093-88-7
- [5] WALD, F. a kol. *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí*. 1. vydání. Praha: ČVUT, 2005. 336 s. ISBN 80-01-03157-8
- [6] BRADÁČOVÁ, I., *Požární bezpečnost staveb I – nevýrobní objekty*. 2. aktualizované vydání. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010. 228 s. ISBN 978-80-7385-023-4
- [7] VAŠÁTKO, Eduard. Požární problematika dřevěných konstrukcí [online]. Vystaveno 04.11.2009 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://www.seidl.cz/cz/publikace/pozarni-problematika-drevenych-konstrukci-73.html>
- [8] DUFKOVÁ, Magdaléna. Požadavky na požární bezpečnost dřevostaveb [online]. Vystaveno 28.02.2011 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby-nove/7184-pozadavky-na-pozarni-bezpecnost-drevostaveb>
- [9] KUKLÍK, Petr. Dřevo a jeho chování při požáru [online]. Vystaveno (bez udání data) [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: http://www.prolignum.cz/fileadmin/prolignum/media.cz/Holzbaukurs/Kapitel_10-PK.pdf

- [10] KUKLÍK, Petr. Dřevo hoří bezpečně – chování dřeva a dřevěných konstrukcí při požáru [online]. Vystaveno 29.04.2010 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: http://www.prolignum.cz/fileadmin/prolignum/media.cz/Drevo_hori_bezpecne-chovani_dreva_a_drevenych_konstruk.pdf
- [11] KUKLÍK, Petr. Dřevěné konstrukce – požární návrh [online]. Vystaveno 17.02.2005 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/Kurz_2005/06_Drevene_konstrukce.pdf
- [12] NEZNÁMÝ AUTOR. Hoření dřeva a jeho ochrana proti ohni [online]. Vystaveno (bez udání data) [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/12.pdf
- [13] VRZÁČEK, Jan. KOPOS Kolín [online]. Vystaveno 2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.kopos.cz/cs/tridy-reakce-na-ohen.php>
- [14] ČSN EN 338 (731711): Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti. 2010
- [15] Program Microsoft Excel 2007
- [16] Program Microsoft Word 2007

7.0 Seznam příloh

Příloha A – seznam pojmů

Příloha B – seznam obrázků

Příloha C – seznam tabulek

Příloha D – návod k výpočetnímu programu

Příloha A – seznam pojmů

- Hoření:** Hoření je oxidační exotermický děj. Vzniká při něm světlo a teplo. Pro hoření je třeba zajistit určité podmínky, které jsou pro něho charakteristické. Pro hoření je nutné, aby bylo iniciováno zdrojem na přítomné hořlavině s přístupem oxidačního prostředí. Oxidační prostředek a hořlavina tvoří tzv. hořlavý soubor.
- Požár:** Pod pojmem požár je třeba si představit nekontrolovatelný oheň, při kterém dochází k nepříznivým vlivům, jako jsou například usmrcení případně zranění osob, nebo zvířat, dále dochází ke škodám jak materiálním, tak škodám na životním prostředí. Při požáru dochází k bezprostřednímu ohrožení. Požár vzniká buď v důsledku technické chyby, přírodního neštěstí, nebo úmyslným zapálením.
- Průběh požáru:** Obecně lze průběh požáru rozdělit do 3 základních bodů. Rozhořívání, plně rozvinutý požár a nakonec dohořívání.
- Rozhořívání:** Rozhořívání je charakterizováno relativně nízkou teplotou a požár je lokalizován pouze v ohnisku jeho vzniku. V době rozhořívání je možná evakuace osob, majetku, a také je umožněn účinný zásah požárních jednotek.
- Plně rozvinutý požár:** Plně rozvinutý požár vzniká při překročení teploty mezi 400 °C a 600 °C. Při plně rozvinutém požáru je velmi malá šance na přežití osob v zasažených prostorách. Celý zasažený prostor je celkově zasažen plameny, prudce roste teplota, dokud nedosáhne své maximální hodnoty.
- Dohořívání:** Dohořívání je závěrečnou fází požáru. Tato fáze je doprovázena postupným klesáním teploty. Nastává zhruba po spotřebování 80% hořlavých látek a materiálů a pokračuje až do úplného vyhasnutí.
- Hořlavost:** Hořlavostí stavebních hmot je ukazatel toho, jak přispívají stavební hmoty a materiály k intenzitě požáru. Podle hořlavosti se výrobky dělí na 7 skupin. Jsou to skupiny A1, A2, B, C, D, E a F, přičemž výrobky patřící do skupiny A1 jsou nejbezpečnější, protože nepřispívají k šíření požáru. Naproti tomu prvky skupiny E nejsou schopny delšímu odolávání požárnímu zatížení bez jeho dalšího rozšíření. Do třídy F se řadí prvky, které se nedají přiřadit do žádné z předchozích tříd. Stupně hořlavosti se v této době převádějí pomocí norem na třídu reakce na oheň. Základním rozdílem mezi stupněm hořlavosti a třídou reakce na

oheň je zejména v tom, že stupeň hořlavosti hodnotí samostatně jednotlivé materiály, kdežto třída reakce na oheň hodnotí celý stavební výrobek v jeho konečném provedení. Dle třídy reakce na oheň se stavební hmoty dělí na 5 stupňů. Jedná se o stupeň A, což jsou hmoty nehořlavé (kámen, břidlice, žula, cihly, malty, perlit, omítky, desky z minerálních vláken, desky ze skleněných vláken aj.), dále stupeň B, což jsou materiály nesnadno hořlavé (neměkčený PVC, desky z minerálních vláken, desky ze skleněných vláken, sádkartonové desky), pak stupeň C1, což jsou těžce hořlavé materiály (listnaté dřeviny jako dub a buk, tvrzený papír, překližka, vodovzdorná překližka), stupeň C2, který značí středně hořlavé hmoty (jehličnatá dřeva jako smrk, jedle, borovice a modřín, dřevotřískové desky, dřevovláknité desky, pryžová podlahovina, lepenka s živičným pojivem) a nakonec stupeň C3, což jsou lehce hořlavé hmoty (laminovaná dřevotřísková deska, Hobra, polypropylen, polyuretan, lehčené PVC, asfaltové pásy, tkané podlahové krytiny aj.)

Rychlost zahoření: Rychlost zahoření roste úměrně s obsahem pryskyřic, obsažených v dřevě a materiálech na bázi dřeva. Klesá úměrně se stoupající vlhkostí těchto materiálů a se vzrůstající objemovou hmotností.

Stupeň zápalnosti: Stupeň zápalnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva je ovlivněna zejména kvalitou a opracováním povrchů jednotlivých prvků, případně celých konstrukcí. Velkou roli zde také hrají rozměry jednotlivých prvků a jejich pórovitost.

Žhnutí: Žhnutím se rozumí hoření látek bez vzniku plamene. Velice často je žhnutí příčinou nekontrolovatelného požáru, protože jeho dlouhodobé působení je velmi těžko pozorovatelné.

Rychlost zuhelnatění: Rychlost zuhelnatění je rychlost, jakou se vytváří na průřezech ze dřeva nebo materiálů na bázi dřeva vrstva dřevěného uhlí. Pomocí rychlosti zuhelnatění se zjišťuje charakteristická hloubka zuhelnatění, která je závislá také na čase. Rychlost zuhelnatění se mění v závislosti na materiálu. Lepené lamelové dřevo má menší rychlost zuhelnatění než rostlé dřevo stejné nebo podobné hustoty a nejmenšího rozměru 35 mm.

Vznícení: Vznícení dřeva probíhá při minimální teplotě povrchu 400 °C bez přímého působení zdroje vznícení. V takovém případě se jedná o samovznícení. I při přímém působení zdroje vznícení je nutno udržovat po určitou dobu teplotu na nejméně 300 °C. Doba do vznícení dřeva a šíření ohně závisí na hustotě dřeva. Čím je hustota větší, tím hůře se daný typ dřeva vznítí.

- Zdroje vznícení:** Jedná se o zdroje tepelné energie, které působí buď přímo, nebo nepřímo na prvek. Tyto zdroje jsou schopny vznítit stavební materiály a uvést je do stavu hoření nebo žhnutí. Mezi zdroje vznícení patří například plameny, jiskry nebo žhavá tělesa.
- R:** Zkratka užívaná pro označení mezního stavu požární odolnosti. Touto zkratkou se označují výrobky, které musí mít požadovanou únosnost a stabilitu během požárního zatížení. Její využití je u nosných konstrukcí.
- E:** Zkratka užívaná pro označení mezního stavu požární odolnosti. Touto zkratkou se označují výrobky, které musí mít požadovanou celistvost. Celistvost je schopnost konstrukce přiměřeně se přizpůsobit mimořádné situaci. Například při extrémním zatížení.
- I:** Zkratka užívaná pro označení mezního stavu požární odolnosti. Touto zkratkou se označují výrobky, které musí mít požadovanou izolační úroveň během působení požárního zatížení. Kritériem izolace je čas, po který daný prvek zachovává svou funkci, aniž by se na neohřívaném povrchu dosahovaly teplot, které jsou vyšší než počáteční teplota o 180 °C, nebo vzrůst teploty o více než 140 °C v kterémkoli místě povrchu.

Příloha B – seznam obrázků

Obr. 2.1	Změna dřeva v průřezu konstrukčního prvku vlivem požáru4
Obr. 2.2	Vztah mezi hustotou ρ a mírou zuhelnatění dřeva RC5
Obr. 2.3	Teplota pod vrstvou pyrolýzy dřeva, které je vystaveno požáru podle nominální normové teplotní křivky.....6
Obr. 2.4	Průřez nosníků a sloupů před a po zatížení požárem7
Obr. 2.5	Příklady redukčního součinitele η_{fi} v závislosti na poměru zatížení $\frac{Q_{k,1}}{G_k}$ podle vztahu (2.7) 15
Obr. 2.6	Jednorozměrné zuhelnatění širokého průřezu vystaveného jednostranně účinkům požáru 18
Obr. 2.7	Hloubka zuhelnatění $d_{char,0}$ pro jednorozměrné zuhelnatění a nominální hloubka zuhelnatění $d_{char,n}$ 19
Obr. 2.8	Příklady protipožárního obložení nosníků a sloupů..... 22
Obr. 3.1	Redukční součinitel pevnosti a modulu pružnosti zbytkového průřezu..... 26
Obr. 3.2	Zbytkový a účinný průřez..... 27
Obr. 3.3 A	Průběh k_0 pro nechráněné a chráněné prvky, kde $t_{ch} \leq 20$ min 28
Obr. 3.3 B	Průběh k_0 pro chráněné prvky, kde $t_{ch} > 20$ min 28

Příloha C – seznam tabulek

Tab. 2.1	Hodnoty k_{fi} 13
Tab. 2.2	Návrhové hodnoty zuhelnatění 20
Tab. 2.3	Hodnoty součinitele k_2 pro dřevo chráněné vlnou z minerálních vláken 23
Tab. 3.1	Součinitel tloušťky vrstvy nulové pevnosti k_0 pro nechráněné povrchy dle obr. 3.3 A 27

Příloha D – návod k výpočetnímu programu

Výpočetní program je rozdělen na 4 základní části. Byl vytvořen jako kontrola ručních výpočtů, které jsou součástí této bakalářské práce. Jsou dány 4 základní typy úloh. Jedná se o chráněný a nechráněný sloup a dále o 2 nosníky, přičemž u jednoho je zabráněno příčné a torzní nestabilitě jako celku a u druhého je tomuto bráněno pouze v podporách.

PŘÍKLAD 4.1			
1			
2	Posuďte únosnost kloubově uloženého sloupu obdélníkového průřezu.		
3	Průřez má rozměry b [mm] a h [mm]. Sloup je vysoký L [m]. Prvek je zabudován ve třídě		
4	provozu 1 a je proveden z rostlého dřeva třídy C(i). Zatížen je dlouhodobou návrhovou		
5	sílou N_d [kN]. Posudek je proveden na požární odolnost $R(i)$.		
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24	Geometrie a zatížení:	$L =$	3 m
25		$b =$	150 mm
26		$h =$	170 mm
27		$N_d =$	95 kN
28			
29	Materiál:	$C(i) =$	30 -
30		$f_{m,k} =$	30 MPa
31		$f_{c,0,k} =$	22 MPa
32		$E_{0,05} =$	8000 MPa
33	<div> <div>Příklad 4.1</div> <div>Příklad 4.2</div> <div>Příklad 4.3</div> <div>Příklad 4.4</div> </div>		

Na tomto obrázku je vidět, že každý z řešených příkladů je na samostatném listu. Je to zejména proto, aby byla zajištěna přehlednost. Po spuštění se lze přepnout do požadovaného listu a vyplnit žlutá políčka dle svého uvážení.

21	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
22																		
23																		
24	Geometrie a zatížení:			L =	3	m												
25				b =	150	mm												
26				h =	170	mm												
27				Nd =	95	kN												
28																		
29	Materiál:			C(i) =	30	-												
30				f _{m,k} =	30	MPa												
31				f _{c,0,k} =	23	MPa												
32				E _{0,05} =	8000	MPa												
33																		
34	Požární odolnost:			R(i) =	30	min												
35																		
36	Návrh na účinky požáru:																	
37																		
38	Návrhová osová síla:			Nd, m	57	kN												
39																		
40	Posudek metodou redukovaného průřezu:																	
41																		
42																		
43	Účinná hloubka zuhelnatění:			def =	31	mm												
44																		
45	Průřezové charakteristiky:			bfi =	88	mm												
46				hfi =	108	mm												
47				Afi =	9504	mm ²												
48				I _{y,fi} =	9237888	mm ⁴												
49				I _{z,fi} =	6133248	mm ⁴												
50				i _{y,fi} =	31,17691	mm												
51				i _{z,fi} =	25,40341	mm												
52																		

	C16	C24	C30	
f _{m,k}	16	24	30	MPa
f _{c,0,k}	17	21	23	MPa
E _{0,05}	5400	7400	8000	MPa

	R15	R30	R45	R60	R90	R120	
t	15	30	45	60	90	120	min

Zarámovaná levá oblast je prostor, do kterého uživatel zapisuje vstupní výpočtové hodnoty. Zarámovaná pravá oblast je pomocná tabulka s hodnotami, které bude uživatel potřebovat k výpočtům v tomto listě. Obsahuje 3 typy dřeva využívaného v České Republice a jejich základní vlastnosti dle ČSN EN 338 (731711) – Konstrukční dřevo – třídy pevnosti. Druhá tabulka je tabulka normových odolností proti požáru s udáním požadované doby odolnosti v minutách.

Po zadání hodnot do levé oblasti se uživateli automaticky přepočítá celé zadání a výpočet je zakončen posudkem pro dané namáhání.

42	A	B	C	D	E	F	G
43	Účinná hloubka zuhelnatění:			def =	31	mm	
44							
45	Průřezové charakteristiky:			bfi =	88	mm	
46				hfi =	108	mm	
47				Afi =	9504	mm ²	
48				I _{y,fi} =	9237888	mm ⁴	
49				I _{z,fi} =	6133248	mm ⁴	
50				i _{y,fi} =	31,17691	mm	
51				i _{z,fi} =	25,40341	mm	
52							
53	Návrhová pevnost dřeva v tlaku						
54	rovnoběžně s vlákny:			f _{c,0,d,fi} =	28,75	MPa	
55							
56	Štíhlostní poměry:			λ _y =	96,22504	-	
57				λ _z =	118,0944	-	
58							
59				λ =	118,0944	-	
60							
61				λ _{rel,z} =	2,015631	-	
62							
63	Součinitel vzpěrnosti:			k =	2,702948	-	
64				k _{c,z} =	0,222034	-	
65							
66	Napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny v průřezu:			σ _{c,0,d,fi} =	5,997475	MPa	
67							
68							
69	Posouzení sloupu na vzpěr:						
70				k _c *f _{c,0,d,fi} =	6,383464	MPa	
71							
72				σ _{c,0,d,fi} ≤ k _c *f _{c,0,d,fi}	...		VYHOVUJE
73							

Na dalším obrázku je zadání příkladu 4.2. Jedná se o sloup chráněný deskami OSB.

PŘÍKLAD 4.2

Posuďte únosnost kloubově uloženého sloupu obdélníkového průřezu. Průřez má rozměry b [mm] a h [mm]. Sloup je vysoký L [m]. Prvek je zabudován ve třídě provozu 1 a je proveden z rostlého dřeva třídy C(i). Zatížen je dlouhodobou návrhovou silou N_d [kN]. Posudek je proveden na požární odolnost R(45).

Sloup je chráněn OSB deskami tloušťky h_p [mm] a hustotou ρ [kg/m³].

Geometrie a zatížení:

L	=	3	m
b	=	130	mm
h	=	150	mm
N_d	=	125	kN

Materiál:

$C(i)$	=	24	-
$f_{m,k}$	=	24	MPa
$f_{c,0,k}$	=	21	MPa

Na následujícím obrázku jsou vidět pole pro zadání vlastností OSB desky a na pravé straně tabulka s doporučenými hodnotami. Jedná se o příklad posudku, tudíž uživatel musí znát použitý typ desky, její tloušťku a objemovou tíhu.

Geometrie a zatížení:

L	=	3	m
b	=	130	mm
h	=	150	mm
N_d	=	125	kN

Materiál:

$C(i)$	=	24	-
$f_{m,k}$	=	24	MPa
$f_{c,0,k}$	=	21	MPa
$E_{0,05}$	=	7400	MPa

OSB desky:

h_p	=	20	mm
ρ	=	550	kg/m ³

Požární odolnost:

$R(i)$	=	45	min
--------	---	----	-----

Návrh na účinky požáru:

Návrhová osová síla:

N_d, f_i	=	75	kN
------------	---	----	----

Doba do porušení pláště požární ochrany:

k_p	=	0,904534	-
k_h	=	1	-
β_{0,p,h_p}	=	0,814081	mm/min
t_{ch}	=	24,56759	min
t	=	20,43241	min

Posudek metodou redukovaných vlastností:

Hloubka zuhelnatění:

d_{char}	=	16,34593	mm
------------	---	----------	----

	C16	C24	C30	
$f_{m,k}$	16	24	30	MPa
$f_{c,0,k}$	17	21	23	MPa
$E_{0,05}$	5400	7400	8000	MPa

	R15	R30	R45	R60	R90	R120	
t	15	30	45	60	90	120	min

OSB desky:

h_p	vyrábí se v rozmezí cca 6-25 mm
ρ	pohybuje se v rozmezí cca 500-700 kg/m ³

Na tento příklad jsou aplikovány obě metody posouzení.

	A	B	C	D	E	F	G
50							
51							
52							
53							
54				Hloubka zuhelnatění:	dchar = 16,34593	mm	
55							
56				Průřezové charakteristiky:	bfi = 97,30815	mm	
57					hfi = 117,3081	mm	
58					Afi = 11415,04	mm ²	
59					Iy,fi = 13090386	mm ⁴	
60					Iz,fi = 9007298	mm ⁴	
61					Iy,fi = 33,86394	mm	
62					Iz,fi = 28,09044	mm	
63							
64				Návrhová pevnost dřeva v tlaku			
65				rovnoběžně s vlákny:	fc,0,d,fi = 26,25	MPa	
66							
67				Štíhlostní poměry:	λy = 88,5898	-	
68					λz = 106,7979	-	
69							
70					λ = 106,7979	-	
71							
72					σc,crit = 6,402956	MPa	
73					λrel,z = 1,811004	-	
74							
75				Součinitel vzpěrnosti:	k = 2,290968	-	
76					kc,z = 0,270701	-	
77							
78				Návrhová pevnost v tlaku:	Ar = 0,011415	m ²	
79					p = 0,429233	m	
80					kmod,fi = 0,699181	-	
81					fc,0,d,fi = 18,3535	MPa	
82							
83				Posouzení sloupu na vzpěr:	Nd,fi/Ar = 6,57028	MPa	
84					kc*fc,0,d,fi = 4,968318	MPa	
85							
86					Nd,fi/Ar ≤ kc*fc,0,d,fi	...	NEVYHOVUJE!!!
87							

	A	B	C	D	E	F	G
85							
86				$N_{d,fi}/A_r \leq k_c \cdot f_{c,0,d,fi}$...		NEVYHOVUJE!!!
87							
88							
89							
90							
91				Účinná hloubka zuhelnatění:	def = 23,34593	mm	
92							
93				Průřezové charakteristiky:	b _{fi} = 83,30815	mm	
94					h _{fi} = 103,3081	mm	
95					A _{fi} = 8606,41	mm ²	
96					I _{y,fi} = 7654378	mm ⁴	
97					I _{z,fi} = 4977551	mm ⁴	
98					i _{y,fi} = 29,82249	mm	
99					i _{z,fi} = 24,04899	mm	
100							
101				Návrhová pevnost dřeva v tlaku			
102				rovnoběžně s vlákny:	f _{c,0,d,fi} = 26,25	MPa	
103							
104				Štíhlostní poměry:	λ _y = 100,5952	-	
105					λ _z = 124,7454	-	
106							
107					λ = 124,7454	-	
108							
109					λ _{rel,z} = 2,115345	-	
110							
111				Součinitel vzpěrnosti:	k = 2,918876	-	
112					k _{c,z} = 0,202834	-	
113							
114				Napětí v tlaku rovnoběžně			
115				s vlákny v průřezu:	σ _{c,0,d,fi} = 8,714435	MPa	
116							
117				Posouzení sloupu na vzpěr:			
118					k _c · f _{c,0,d,fi} = 5,3244	MPa	
119							
120					σ _{c,0,d,fi} ≤ k _c · f _{c,0,d,fi}	...	NEVYHOVUJE!!!
121							
122							

Jak je vidět na předchozích dvou obrázcích, sloup na dané požární zatížení a požadovanou požární odolnost nevyhoví.

Na následujícím obrázku je již zadání příkladu 4.3. Jedná se o návrh nosníku, který má bedněním zajištěnou příčnou a torzní stabilitu.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	PŘÍKLAD 4.3							
2	Navrhněte prostě podepřený nosník na požární odolnost $R(i)$.							
3	Rozpětí nosníku je L [m] a je zatížen charakteristickým dlouhodobým zatížením g_k [kN/m]							
4	a užitným zatížením q_k [kN/m].							
5	Příčná a torzní stabilita nosníku je zajištěna bedněním. Nosník je z rostlého dřeva třídy C(i)							
6	a je zabudován ve dřevo provedení 1.							
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22	Geometrie a zatížení:				$L =$	3,5	m	
23					$g_k =$	0,9	kN/m	
24					$q_k =$	1,1	kN/m	
25								
26	Materiál:				$C(i) =$	24	-	
27					$f_{m,k} =$	24	MPa	
28					$f_{c,0,k} =$	21	MPa	
29					$E_{0,05} =$	7400	MPa	
30								
31	Požární odolnost:				$R(i) =$	30	min	

Následující obrázek ukazuje posudek navrženého průřezu na účinky zatížení při běžné teplotě.

36	Návrh na běžnou teplotu:	$M_d =$	4,38703125	kNm	
37					
38	Návrhová pevnost v ohybu:	$f_{m,d} =$	11,07692308	MPa	
39					
40	Návrh průřezu:	$b =$	180	mm	
41		$h =$	230	mm	
42					
43	Modul průřezu:	$W_y =$	1587000	mm ³	
44					
45	Posouzení normálového napětí				
46	za ohybu:	$\sigma_{m,d} =$	2,764354915	MPa	
47		$k_{crit} \cdot f_{m,d} =$	11,07692308	MPa	
48					
49	Posudek:	$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$...	VYHOVUJE	
50					

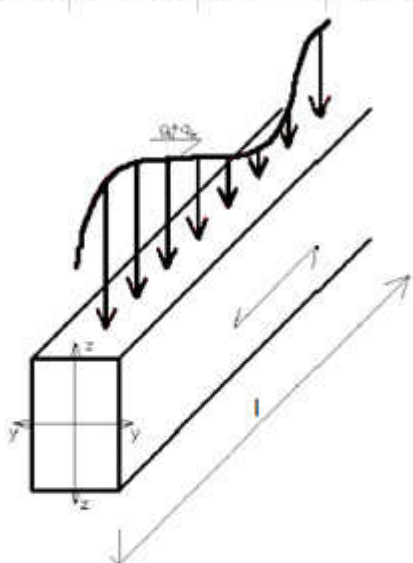
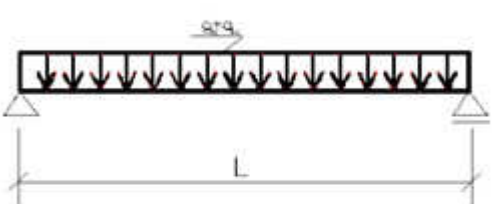
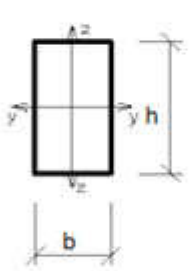
Posudek na účinky zatížení požárem je opět proveden automaticky, jakmile je uživatelem zadáno vše potřebné do žlutých políček.

	A	B	C	D	E	F	G
55							
56	Posudek metodou redukovaných vlastností:						
57							
58							
59	Hloubka zuhelnatění:		dchar =	24		mm	
60							
61	Průřezový modul:		bfi =	132		mm	
62			hfi =	206		mm	
63			Wy,fi =	933592		mm ³	
64							
65	Návrhová pevnost v ohybu:		Ar =	0,027192		m ²	
66			p =	0,544		m	
67			kmod,fi =	0,89997058		-	
68			fm,d,fi =	26,99911739		MPa	
69							
70	Posouzení normálového napětí za ohybu:		σm,d,fi =	1,836990891		MPa	
71			kcrit*fm,d,fi =	26,99911739		MPa	
72							
73							
74			σm,d,fi ≤ kcrit*fm,d,fi			...	VYHOVUJE
75	Posudek metodou redukovaného průřezu:						
76							
77							
78							
79	Účinná hloubka zuhelnatění:		def =	31		mm	
80							
81	Průřezový modul:		bfi =	118		mm	
82			hfi =	199		mm	
83			Wy,fi =	778819,6667		mm ³	
84							
85	Návrhová pevnost v ohybu:		fm,d,fi =	30		MPa	
86							
87	Posouzení normálového napětí za ohybu:		σm,d,fi =	2,202050196		MPa	
88			kcrit*fm,d,fi =	30		MPa	
89							
90							
91			σm,d,fi ≤ kcrit*fm,d,fi			...	VYHOVUJE
92							

Jak je vidět, nosník vyhoví na požadovanou požární odolnost.

Na dalším obrázku je příklad 4.4, který se zabývá posudkem nosníku se zajištěním příčné a torzní stability pouze v podporách.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	PŘÍKLAD 4.4							
2	Posuďte prostě podepřený nosník na požární odolnost $R(i)$.							
3	Rozpetí nosníku je L [m], šířka b [m] a výška h [m]. Je zatížen charakteristickým							
4	dlouhodobým zatížením g_k [kN/m] a užitným zatížením q_k [kN/m].							
5	Příčná a torzní stabilita nosníku je zajištěna pouze v podporách.							
6	Nosník je z rosného dřeva třídy $C(i)$ a je osadován ve třídě provozu 1.							
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22	Geometrie a zatížení:				$L =$	4,5	m	
23					$b =$	150	mm	
24					$h =$	200	mm	
25					$g_k =$	1,2	kN/m	
26					$q_k =$	1,3	kN/m	
27								
28	Materiál:				$C(i) =$	24	-	
29					$f_{m,k} =$	24	MPa	
30					$f_{c,0,k} =$	21	MPa	
31					$E_{0,05} =$	7400	MPa	
32								

◀ ▶ 🔍
Příklad 4.1 Příklad 4.2 Příklad 4.3 **Příklad 4.4** 🔍

Na posledním obrázku je vidět posudek s výpočtem kritického součinitele k_{crit} , který je závislý na relativní poměrné štíhlosti. Součinitel k_{crit} se volí sám v závislosti na $\lambda_{rel,m}$.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
41									
42				$\eta_{fi} =$	0,408964	-			
43				$M_{d,fi} =$	3,695625	kNm			
44									
45									
46									
47									
48				$d_{char} =$	48	mm			
49									
50				$b_{fi} =$	54	mm			
51				$h_{fi} =$	152	mm			
52				$W_{y,fi} =$	207936	mm ³			
53									
54				$A_r =$	0,008208	m ²			
55				$p =$	0,358	m			
56				$k_{mod,fi} =$	0,78192	-			
57				$f_{m,d,fi} =$	23,4576	MPa			
58									
59									
60				$I_{ef} =$	4354	mm ⁴			
61				$\sigma_{m,crit} =$	25,43208	MPa			
62				$\lambda_{rel,m} =$	0,971437	-			
63									
64				$k_{crit,1} =$	1	-			$\lambda_{rel,m} \leq 0,75$
65				$k_{crit,2} =$	0,831422	-	pro		$0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$
66				$k_{crit,3} =$	1,05967	-			$1,4 < \lambda_{rel,m}$
67									
68				$k_{crit} =$	0,831422	-			
69				$\sigma_{m,d,fi} =$	17,7729	MPa			
70				$k_{crit} * f_{m,d,fi} =$	19,50317	MPa			
71									
72				$\sigma_{m,d,fi} \leq k_{crit} * f_{m,d,fi}$...				VYHOVUJE

Hodnoty z kontrolního programu se liší od mnou vypočtených hodnot v minimálních řádech. Je to dáno zejména tím, že při ručním výpočtu bylo zaokrouhlováno téměř při každém výpočtu, tudíž se kumulovaly chyby.